

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Хіміко-технологічний факультет**

**Кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Т.В. Бойко

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології**

**на тему: «Розподілена автоматизована система управління  
гранулятором з псевдозрідженим шаром»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ХА-71мп

Кравчук Р.В.

\_\_\_\_\_

Керівник:

доцент КХТП, к.т.н.

Складанний Д.М.

\_\_\_\_\_

Консультант з розроблення стартап-проекту:

доцент КЕіП, к.е.н.

Тюленєва Ю.В.

\_\_\_\_\_

Рецензент:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2018 року  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Хіміко-технологічний факультет

**Кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» («Комп'ютерно-інтегровані технології сталих хімічних виробничих комплексів»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Т.В. Бойко

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Кравчуку Руслану Вікторовичу**

1. Тема дисертації «Розподілена автоматизована система управління гранулятором з псевдозрідженим шаром», науковий керівник дисертації Складанний Денис Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом дисертації: \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4. Вихідні дані: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: \_\_\_\_\_

7. Орієнтовний перелік публікацій: \_\_\_\_\_

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап-проекту	доцент КЕіП, к.е.н. Тюленєва Ю.В.		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			

Студент

Кравчук Р.В.

Науковий керівник дисертації

Складанний Д.М.

## РЕФЕРАТ

сторінок 95, таблиць 25, рисунків 38, додатків 2, джерел 25.

РОЗПОДІЛЕНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, SCADA СИСТЕМА,  
МІКРОКОНТРОЛЕР, ПРОЦЕС ЗНЕВОДНЕННЯ ТА ГРАНУЛЯЦІЇ,  
ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, СТАРТ-АП ПРОЕКТ

**Актуальність теми.** Найбільш сучасним підходом до створення автоматизованих систем є реалізація розподілених систем керування які здійснюють керування процесом циклічно. В більшості випадків розроблення сучасних АСУТП здійснюється за допомогою спеціалізованих програмних засобів, найбільш поширеними з яких є SCADA системи. Таким чином задача автоматизації технологічних процесів є важливою, а її вирішення має значну цінність для практики. Тобто тема дисертаційного дослідження є **актуальною**.

Робота виконувалась в межах ініціативної науково-дослідної роботи *«Оптимізація технологічних об'єктів та систем управління з урахуванням надійності, невизначеності і ризиків»* (0117U007339).

**Метою даної роботи** є розроблення алгоритмів та підбір засобів технічної реалізації розподіленої автоматизованої системи керування технологічним процесом зневоднення та грануляції

**Об'єкт дослідження** – розподілена автоматизована система управління процесом зневоднення та грануляції у псевдозрідженому шарі.

**Предметом дослідження** – технологічні параметри процесу, які застосовуються для розроблення автоматизованої системи керування ним.

Робота присвячена розробленню розподіленої системи автоматизованого керування в системі SCADA Trace Mode. Передпроектні дослідження включали розрахунок матеріального балансу процесу та побудову функціональної схеми автоматизації.

За результатами дисертації опубліковано дві тези доповідей.

## ABSTRACT

pages 95, tables 25, figures 38, annexes 2, sources 25.

DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM, SCADA-SYSTEM,  
MICROCONTROLLER, DEHYDRATION AND GRANULATION PROCESS,  
TECHNICAL MEANS OF AUTOMATION, START-UP PROJECT

**Actuality.** The most modern approach to the creation of automated systems is the implementation of distributed control systems that process the process in a cyclic manner. In most cases, the development of modern AMS is carried out using specialized software, the most common of which is the SCADA system.

Thus, the task of automating technological processes is important, and its solution has a significant value for practice. That is, the topic of the dissertation research is **relevant**.

**The purpose** of this work is the development of algorithms and the selection of technical implementation tools distributed automated control system of the technological process of dehydration and granulation using modern technical and software tools.

**The object** is distributed automated process of dehydration and granulation in a fluidized bed control system.

**The subject** is the technological parameters of the dehydration and granulation process that are used to develop an automated control system for it.

The research is devoted to the development of a distributed automated control system in the SCADA Trace Mode system. Pre-design studies included calculation of the material balance of the process and the construction of a functional scheme of automation.

The results of the research are published at two theses.

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ГРАНУЛЯЦІЯ РОЗЧИНІВ У ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ ЯК ОБ'ЄКТ АВТОМАТИЗАЦІЇ	8
1.1. Грануляція розчинів у псевдозрідженому шарі як об'єкт автоматизації	8
1.2. Механізм процесу гранулоутворення.	10
1.3. Моделювання процесу зневоднення і грануляції в псевдозрідженому шарі	14
1.4. Змінні процесу, що потребують контролю та керування	16
Висновки до розділу 1	18
2 МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ	20
2.1. Огляд SCADA систем	20
2.2. Основні завдання, які вирішуються SCADA-системами	22
2.3. Архітектура SCADA-систем	23
2.4. Огляд SCADA-систем	24
2.4.1. Середовище TRACE MODE	24
2.4.2. Середовище GENESIS32	26
2.4.3. WinCC(Siemens SIMATIC)	28
2.4.4. InTouch (Schneider)	30
2.5. Мови програмування, реалізовані у SCADA-системах	31
Висновки до розділу 2	35
3 ПІДГОТОВЧІ СТАДІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ГРАНУЛЯЦІЇ СУЛЬФАТУ АМОНІЮ	37
3.1. Обґрунтуванням необхідності розрахунків	37
3.2. Аналіз структури ХТС	37
3.3. Розрахунок матеріальних балансів	41

3.4	Розробка схеми автоматизації	45
	Висновки до розділу 3	47
4.	РОЗРОБКА РОЗПОДІЛЕНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	49
4.1.	Розробка візуальної моделі	49
4.2.	Розробка моделей окремих вузлів технологічної схеми	50
4.3.	Об'єднання та побудова узагальненої моделі технологічної системи	60
4.4.	Результати імітації в середовищі Trace Mode 6	62
4.5.	Підбір устаткування для реалізації схеми автоматизації	64
4.6.	Підбір датчиків, виконавчих механізмів та регулюючих органів	69
	Висновки до розділу 4	72
5	РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ	73
5.1	Резюме: конкретизація бізнес-ідеї, мети стартапу, об'єкту дослідження, місця розробки у інноваційному ланцюжку цінності	73
5.2	Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища старт-апу	75
5.3	Ключові фактори успіху проекту за методом Шонфільда.	77
5.4	Розрахунок основних техніко-економічних показників проекту	79
5.5	Карта бізнес процесів використання стартап проекту	85
5.6	Аналіз ризиків	87
	Висновки до розділу 5	89
	ВИСНОВКИ	90
	СПИСОК ПОСИЛАНЬ	91
	Додаток А. Функціональна схема автоматизації	94
	Додаток Б. Техніко-економічні показники	95

## ВСТУП

В наш час технологічні процеси, які реалізовані у всіх сферах матеріального виробництва набувають тенденції до повної автоматизації із застосуванням комп'ютерно-інтегрованих технологій. Найбільш сучасним підходом до створення автоматизованих систем є реалізація розподілених систем керування які здійснюють керування процесом циклічно. В більшості випадків розроблення сучасних АСУТП здійснюється за допомогою спеціалізованих програмних засобів, найбільш поширеними з яких є SCADA системи.

Таким чином задача автоматизації технологічних процесів є важливою, а її вирішення має значну цінність для практики. Тобто тема дисертаційного дослідження є актуальною.

**Об'єктом дослідження** магістерської дисертації є розподілена система управління процесом зневоднення та грануляції.

**Предметом дослідження** є технологічні параметри процесу зневоднення та грануляції, які застосовуються для розроблення автоматизованої системи керування ним.

**Метою даної роботи** є розроблення алгоритмів та підбір засобів технічної реалізації розподіленої автоматизованої системи керування технологічним процесом зневоднення та грануляції з використанням сучасних технічних і програмних засобів.

Робота виконувалась в межах ініціативної науково-дослідної роботи *«Оптимізація технологічних об'єктів та систем управління з урахуванням надійності, невизначеності і ризиків»* (номер державної реєстрації 0117U007339).

Для досягнення заявленої мети в роботі поставлені та виконані наступні задачі:

- проаналізовано технологічний процес зневоднення та грануляції в псевдозрідженому шарі як об'єкт автоматизації;



- оглянуті представлені на ринку SCADA системи, оцінені їх переваги та недоліки та обрано систему SCADA Trace Mode 6 як середовище для розроблення розподіленої системи керування процесом;
- оглянуті мови програмування систем мікроконтролерного управління та обрано мову функціональних блоків та мову структурованого тексту для розроблення розподіленої системи керування процесом;
- проведені попередні дослідження для розроблення автоматизованої системи, розраховано матеріальний баланс процесу та побудована функціональна схема автоматизації;
- розроблена імітаційна розподілена система керування технологічним процесом зневоднення і грануляції, яка містить візуальну модель для робочого місця оператора та моделі основних контурів контролю та управління;
- підібрані виконавчі механізми та регулюючі органи для технологічно реалізації розробленої автоматизованої системи;
- підібрані засоби мікропроцесорного керування, які забезпечують функціонування розробленої розподіленої системи;
- розроблено старт-ап проект на тему: «Малі автоматизовані системи».

Робота складається з п'яти розділів та двох додатків. Перелік посилань містить 25 джерел.

Результати магістерської дисертації представлялися на двох всеукраїнських конференціях з публікацією матеріалів конференції [24, 25]

# **1 ГРАНУЛЯЦІЯ РОЗЧИНІВ У ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ ЯК ОБ'ЄКТ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

## **1.1. Гранулятори з псевдозрідженим шаром.**

Розвиток теоретичних основ і техніки псевдозрідженого шару призвів до створення та упровадження у промисловість низки конструкцій грануляторів з псевдозрідженим шаром [1, 2].

На рис. 1.1 представлені типові конструкції апаратів з псевдозрідженим шаром для гранулювання матеріалів. Основні технологічні рішення, закладені у промислову апаратуру, зводяться до різноманітних способів подачі продукту на грануляцію в шар матеріалу:

- подача пульпи та розведених розчинів на поверхню псевдозрідженого шару з обдувом факелу високотемпературним теплоносієм (види а, е рис 1.1);
- подача концентрованих пульп і розчинів в середину шару форсункою, що встановлена в боковій частині апарату з організацією горизонтального факелу розпилу (види б, в рис 1.1);
- подача розчинів і суспензій форсунками, що встановлені в основу газорозподільної решітки, з організацією факелу розпилу вертикально (види г, д рис. 1.1).

Системи гранулювання у псевдозрідженому шарі суттєво відрізняються способами вводу теплоносія для сушки розчинів:

Системи гранулювання у псевдозрідженому шарі суттєво відрізняються способами вводу теплоносія для сушки розчинів:

- зі зріджуючим агентом під газорозподільну решітку;
- з розпилюючим агентом, одночасно з диспергуванням речовини, що гранулюється;
- всередину шару – шляхом встановлення теплообмінних пристроїв, або спалюванням палива.

Конструкція апарату може передбачати внутрішній та зовнішній ретур – повернення дрібних фракцій на стадію гранулоутворення, або відсутність ретуру. В цілому вибір того чи іншого апаратного рішення процесу гранулювання у псевдозрідженому шарі повинен проводитися з урахуванням наступних факторів:

- виду і властивостей речовини, що гранулюється;
- кінетичних закономірностей гранулоутворення у шарі;
- особливостей аеродинаміки та умов тепло-масообміну у шарі;
- закономірностей класифікації частинок за розмірами та виносу дрібних частинок.

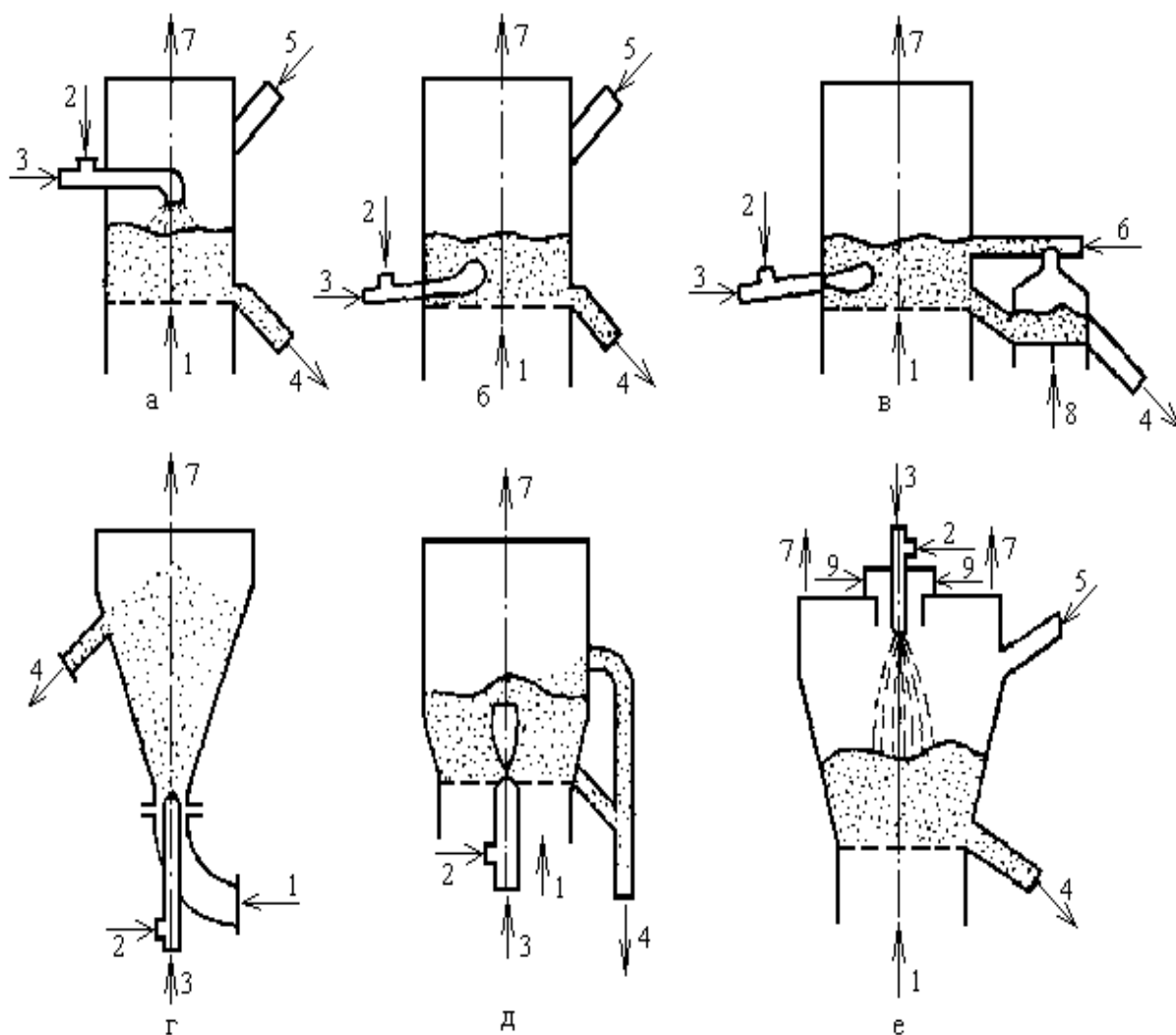


Рисунок 1.1 [1] Схема апаратів для грануляції у псевдозрідженому шарі: а – з подачею розчину на поверхню шару; б – з подачею розчину або розплаву в

середину шару; в – з подачею розчину або розплав у середину шару і класифікацією гранульованого продукту; г – з подачею розчину в середину шару знизу і фонтануванням шару; д – з подачею розчину в середину шару і сепарацією частинок; е – з подачею розчину на поверхню шару у прямоотці високотемпературного носія; 1 – зріджуючий агент; 2 – вихідна речовина; 3 – розпилюючий агент; 4 – готовий гранульований продукт; 5 – ретур; 6 – сепараційне повітря; 7 – відпрацьовані гази; 8 – повітря на класифікацію частинок; 9 – теплоносій.

## 1.2. Механізм процесу гранулоутворення.

Як вже відмічалось раніше, при грануляції розчинів та суспензій у псевдозрідженому шарі існують наступні механізми утворення нових центрів грануляції [2]:

- за рахунок частини речовини, що не закріплюється на поверхні частинок;
- за рахунок механічного подрібнення частинок;
- за рахунок теплового подрібнення частинок.

Механізм подрібнення гранул в апараті є дуже суттєвим для кристалізації розчинів з отриманням готового продукту заданого дисперсного складу. Поряд з утворенням нових центрів грануляції і ростом їх розмірів по мірі нашарування на поверхню тонких плівок в псевдозрідженому шарі можливий ріст гранул за рахунок агломерації окремих частинок внаслідок дії сил зчеплення між частинами в момент їх зіткнення при наявності плівки рідини або її залишків на одній з них. При надлишку рідини на поверхні частинки адгезійні сили та сили інерції руху спричиняють утворення агломератів. При наступній кристалізації речовини з рідкої фази утворюються кристалічні містки, які міцно з'єднують частинки в агломерати. Якщо утворені містки мають недостатню міцність, тоді агломерати розвалюються під час інтенсивного руху агломерату у псевдозрідженому шарі [2, 3].

Внаслідок того, що псевдозріджений шар не є однорідним, а містить певну кількість частинок різних розмірів, тому доцільно описувати системи

статистичними методами. Запропоновано визначити гранулометричний склад продукту шляхом сумісного рішення рівнянь швидкості росту окремих частинок і розподілення гранул за часом перебування їх в апараті. Так, для полідисперсного ретурі при експоненціальному законі росту частинок та ідеальному перемішуванню в шарі, гранулометричний склад розраховується [1, 2]:

$$F(d_i) = \sum_{k=1}^{k=n} F(d_i, d_p) \cdot P_K ;$$

$$F(d_i, d_0) = 1 - \exp \left[ \frac{-3 \cdot (Q_M + Q_P)}{K \cdot Q_P \cdot \ln d_i / d_0} \right] ; \quad (1.1)$$

де  $d_0$ ,  $d_i$ ,  $d_p$  – початковий і поточний діаметри частинок шару, діаметр частинок ретурі;  $Q_M$ ,  $Q_P$  – витрати сухого матеріалу, що вводиться в шар з рідиною і ретуром;  $K$  – коефіцієнт гранулоутворення;  $P_K$  – вміст “к-тої” фракції в ретурі.

Коефіцієнт  $K$  показує, яка доля від введеної з рідкою фазою речовини розподіляється на поверхні частинок. Якщо  $K < 1$ , утворюються нові частинки – центри грануляції. Для випадку, коли  $K > 1$ , проходить агломерація частинок. Якщо  $K = 1$ , то проходить процес грануляції, який характеризується нормальним ростом, це означає, що розпилювання рідини повністю розподіляється на поверхні частинок.

Фізичну модель процесу зневоднення та грануляції розчинів можна умовно представити у вигляді низки елементарних процесів [1-3]:

- псевдозрідження твердих частинок нагрітим теплоносієм;
- розподілення рідкої фази по поверхні частинок;
- випаровування вологи з поверхні частинок;
- кристалізація розчинів на поверхні частинок і збільшення, за рахунок цього, їх розміру;

- стирання частинок і утворення пилової фракції;
- зміна (стабілізація) дисперсного складу частинок за рахунок подрібнення великих гранул – безрецикловий процес – або шляхом введення нових центрів грануляції з зовні – рецикловий процес.

Особливістю процесу є застосування теплового носія, температура якого значно (в декілька разів) перевищує температуру плавлення матеріалу, що підлягає зневодненню та грануляції [1-3]. Тому основною умовою проведення стійкого процесу є активний гідродинамічний режим, який забезпечує інтенсивну циркуляцію частинок між зоною зрошування та зоною контакту з високотемпературним теплоносієм (безпосередньо біля газорозподільної решітки, тобто в самій нижній частині псевдозрідженого шару). Разом з тим відбувається збільшення пилової фракції, яка виноситься з апарату з відпрацьованим теплоносієм. Так, винос пилу становить 10-30% від кількості сухої речовини, що подається в апарат з розчином [1]. Тому при грануляції мінеральних добрив, наприклад, сульфату амонію, далеко не весь матеріал, що викристалізувався на поверхні частинок закріплюється на них.

Перебіг фізичних явищ в кожній гранулі для випадку грануляції розчинів сульфату амонію при виробництві капролактаму, може бути наведений таким чином. В зоні зрошування рідина наноситься на поверхню гранул, яка частково вбирається за рахунок сорбції. Глибина проникнення сорбційного фронту в середину гранули визначається тепловим балансом окремої гранули. При цьому відбувається складний теплообмін гранули: конвективний із зріджувальним агентом і кондуктивний через контакт з іншими гранулами. Якщо сумарна кількість теплоти підведеної до гранули буде достатньою для випаровування вологи, то кристалізація розчину починається на поверхні гранули, що і зумовлює збільшення її розміру [3].

Кінетичні характеристики такого процесу можна показати на прикладі зневоднення розчинів сульфату амонію у псевдозрідженому шарі.

Для математичного опису процесу грануляції сульфату амонію застосована математична модель О.М. Тодеса [4] за таких припущень:

- рух частинок в апараті підлягає умові ідеального змішування;
- зрощення окремої частинки пропорційно її поверхні (при цьому збільшення її розмірів здійснюється тільки за рахунок тієї частки викристалізованого матеріалу, який залишився на поверхні гранули після стирання під час її перебування у псевдозрідженому шарі), тобто збільшення розмірів частинки відбувається тільки за рахунок поверхневого зросту, але не агломерації;
- витрати вихідного розчину, що подається в апарат на зневоднення та грануляцію, є постійними на протязі процесу;
- маса частинок у псевдозрідженому шарі підтримується постійною шляхом вивантаження частини матеріалу з апарату, в стаціонарному процесі проводиться селективне вивантаження;
- теплота, що вводиться в псевдозріджений шар достатня для повного випаровування рідкої фази.

$$\frac{\mathcal{J}(v)}{\partial \delta} + \frac{\mathcal{J}(\lambda_v)}{\partial v} = 2 \cdot \int_{u=0}^{u=\infty} P(u, v) f(u) du - \int_{\omega=0}^{\omega=v} P(v, \omega) f(\omega) d\omega - K \cdot f(v); \quad (1.2)$$

де  $f(v)$  – функція розподілення числа частинок по об'єму,  $1/\text{м}^3$ ;  $\lambda_v$  – об'ємна швидкість гранул,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;  $K$  – константа вивантаження,  $1/\text{год}$ ;  $\int_{u=0}^{u=\infty} P(u, v) f(u) du$

- функція джерела частинок, які утворюються за рахунок подрібнення гранул;

$\int_{\omega=0}^{\omega=v} P(v, \omega) f(\omega) d\omega$  – функція витоку частинок.

Досліджено [4], що винос матеріалу формується на межі щільний шар – розріджена зона. В звичайному випадку математичний опис виносу зводиться до: спільного розгляду розподілення частинок за початковими швидкостями, їх вильоту з щільної фази шару і закономірностей руху частинок у надшаровому просторі.

Вихід гранульованого продукту це узагальнена оцінка ефективності вибору даного способу для проведення процесу грануляції при заданих технологічних параметрах.

### **1.3. Моделювання процесу зневоднення і грануляції в псевдозрідженому шарі**

Автори роботи [5] запропонували модель безперервного процесу зневоднення та грануляції гетерогенних систем у псевдозрідженому шарі.

В основу математичної моделі безрециклового процесу зневоднення і грануляції покладена статистична модель у вигляді рівняння суцільності розмірів у просторі [4]. Проте ця модель не враховує наявності виносу продукту з апарату, що було враховано в моделі авторів [2]:

$$\frac{\partial f(v)}{\partial \tau} + \frac{\partial f(\lambda_v)}{\partial v} = -\eta SKf(v) + \Phi(v),$$

де  $\eta$  – вихід гранульованого продукту,

$$\eta = \frac{G_U}{G_R} \cdot 100\%, \quad (1.3)$$

де:  $G_U$  – кількість гранульованого продукту, вивантаженого за певний проміжок часу, кг/г;  $G_R$  – кількість сухих речовин, що надійшли до апарату з робочим розчином за той самий проміжок часу, кг/г;  $\Phi(v)$  – функція розподілення, що враховує стік частинок за рахунок вивантаження та подрібнення;  $\frac{\partial f(v)}{\partial \tau}$  – зміна числа частинок у часі,  $\frac{\partial f(\lambda_v)}{\partial v}$  – зміна числа частинок в результаті їх зростання;  $K$  - константа вивантаження, 1/год.;  $S$  – функція сепаратора. Для реалізації процесу зневоднення та грануляції важливо визначити ступінь впливу технологічних параметрів процесу на його якісні і кількісні показники.



Враховуючи те, що ефективність безперервного безрециклового процесу суттєво залежить і від попереднього стану протікання багатофакторних процесів у псевдозрідженому шарі, було запропоновано для математичного опису процесу застосувати динамічну модель. Враховуючи неперервність процесу, а також те, що зміна технологічних параметрів впливає на вихід гранульованого продукту не миттєво, запропоновано описати процес за допомогою дискретного диференційного рівняння другого ступеня з запізненням [4]:

$$y = a_{01} \cdot y_{(i-1)} + a_{02} \cdot y_{(i-2)} + \sum_{i=1}^n a_i \cdot x_i(t_i), \quad (1.4)$$

де  $y = \eta$  – що розраховується за формулою (1.4);  $n$  – число параметрів, що входять в модель,  $x_i$  – параметр;  $t_i$  – період запізнення впливу відповідного параметру.

Таким чином після визначення коефіцієнтів рівняння (1.4) набуває вигляду:

$$\begin{aligned} y = & 0,3189 \cdot y_{(i-1)} + 0,3787 \cdot y_{(i-2)} + \\ & + 2,2122 \cdot x_1(1,000) + 0,6085 \cdot x_2(0,4497) + \\ & + 1,9279 \cdot 10^{-2} \cdot x_3(1,000) - 5,625 \cdot x_4(0,1238) \end{aligned} \quad (1.5)$$

Проте розроблена модель хоча і адекватно описує процес, не може бути використана для цілей управління оскільки в ній не встановлено управляючі впливи, а лише констатовано сам факт впливу одних змінних на інші.

Ті самі автори в роботі [6] провели узагальнення результатів експериментів проводилось у вигляді залежностей  $\eta = f\left(\frac{\Delta P_{III}}{d_e}, K_W\right)$  запропонованих авторами [6]. Це дає можливість одночасно розглянути інтервал значень  $K_W$  та  $\frac{\Delta P_{III}}{d_e}$ , при яких вихід гранульованого продукту не менше 60 % та має відносно стабільний дисперсний склад у вигляді діаграми:

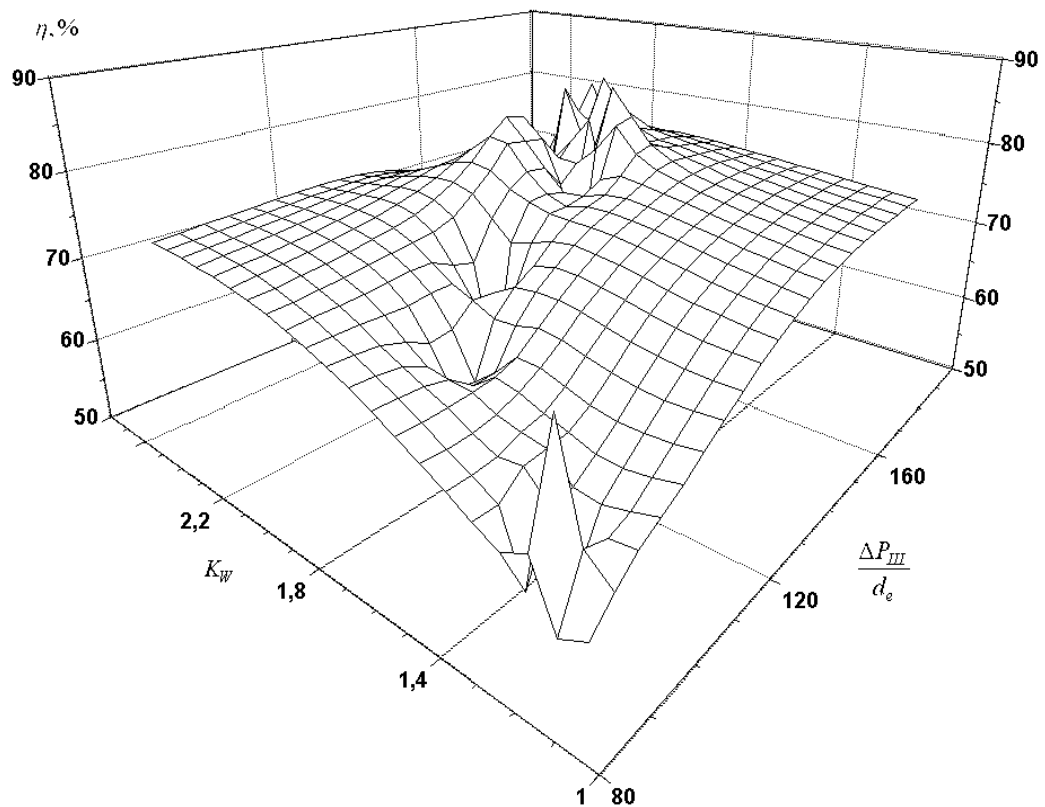


Рисунок 1.2 [6] – Експериментальні залежності  $\eta = f\left(\frac{\Delta P_{III}}{d_e}, K_w\right)$  для робочих розчинів складу сульфат амонію – 40%, стабілізатор кінетики – 2,0 %;

Автори [7-9] запропонували оцінку якості дисперсного складу гранульованого продукту та провели її моделювання у вигляді адекватних регресійних залежностей. Проте такі моделі також не можуть бути використані для розробки систем автоматизації даного процесу.

#### 1.4. Змінні процесу, що потребують контролю та керування

Стабільний процес гранулоутворення при грануляції розчинів та суспензій в псевдозрідженому шарі можливий при виведенні з процесу гранул, що досягли певного розміру і утворенні нових центрів грануляції [2, 4]. Це досягається шляхом створення ретуру (рециклу). Як уже вказано раніше, ретур може бути зовнішнім та внутрішнім. При зовнішньому ретурі розсів гранул за розмірами проводиться у встановленому додатковому обладнанні, наприклад

у грохоті, з наступним відбором дрібних фракцій і поверненням їх у шар. Такий шлях потребує додаткових капітальних затрат на встановлення додаткового обладнання (грохотів, пристроїв підйому) та в значному ступені ускладнює їх обслуговування [3].

Досвід експлуатації апаратів з псевдозрідженим шаром для проведення процесів зневоднення та грануляції показує, що при певних технологічних параметрах можлива стабілізація гранулометричного складу гранульованого продукту внаслідок створення внутрішнього ретур. Причини його утворення розглянуто вище.

Як вказано в [2, 3, 5], на інтенсивність подрібнення частинок у шарі впливає велике число факторів. Однак, як показує досвід гранулювання, стабілізація гранулометричного складу за рахунок внутрішнього ретур можлива лише при певній продуктивності апарату за гранульованим продуктом. Зі збільшенням продуктивності еквівалентній діаметр частинок у шарі збільшується, що може призвести до порушення гідродинамічного режиму і в кінцевому випадку до припинення псевдозрідження. В роботі [2] показана можливість стабілізації гранулометричного складу продукту без введення із зовні центрів грануляції за рахунок встановлення сепаратора дрібних гранул, що забезпечує їх повернення у шар.

Таким чином, задачу стабільності проведення процесу зневоднення та грануляції можна розділити на наступні задачі:

- стабілізація кінетики процесу гранулоутворення;
- стабілізація дисперсного складу гранульованого продукту;
- стабілізація виходу гранульованого продукту.

Серед причин, що призводять до дестабілізації процесу названо:

- дестабілізацію параметрів проведення процесу (температури теплоносія, температури та висоти псевдозрідженого шару та ін.);
- акустичні шуми та вібрації;
- пульсації подачі теплоносія, розчину та ін.;
- збої технологічних режимів проведення процесу.

Основною причиною дестабілізації процесів зневоднення та грануляції є неконтрольовані зміни дисперсного складу гранульованого продукту, що призводять до порушення кінетики гранулоутворення. Основним методом боротьби з вказаною причиною є вдосконалення апаратів псевдозрідженого шару. В роботах [3] показана можливість стабілізації гранулометричного складу продукту без введення із зовні центрів грануляції за рахунок встановлення сепаратора дрібних гранул, що забезпечує їх повернення у шар.

Вплив акустичних шумів та вібрації апарату в зоні псевдозрідження розглянуто у [2]. В роботі сформульована та доведена гіпотеза: для кожної конкретної установки гранулювання має існувати свій статистично значущий взаємозв'язок між прямими показниками якості –  $d_e$  та  $\sigma$  та амплітудно-частотними характеристиками шумів та вібрацій корпусу у зоні псевдозрідженого шару. Це свідчить не лише про можливість, а і необхідність використання експериментально-статистичних методів для оптимізації процесу зневоднення та грануляції.

Важливими результатами цієї роботи є підтвердження можливості проведення безперервного безрециклового процесу зневоднення та грануляції бінарних розчинів, спроба поєднати вихід гранульованого продукту з дисперсним складом частинок та показ залежності між виходом гранульованого продукту та площею поверхні частинок у псевдозрідженому шарі  $\eta = f\left(\frac{\Delta P_{III}}{d_e}\right)$ . Проте в цій роботі, крім недоліків, вказаних в пп. 1 та 4 до попередньої роботи, моделі побудовані за результатами експерименту, проведеного без певного плану, що ставить під сумнів отримані автором оцінки коефіцієнтів. Крім того, представлені моделі не враховують динаміки процесу, що важливо при проведенні безперервних процесів.

## Висновки до розділу 1

Проведення процесу зневоднення та грануляції композитивних рідких систем у псевдозрідженому шарі є одним з найбільш передових способів

одержання гранульованого продукту. Суттєвими перевагами цього способу є проведення процесу безперервно з суміщенням стадій в одному апараті, що суттєво зменшує капітальні затрати. Недоліками процесу є велика кількість неконтрольованих факторів, що впливають на його проведення і знижують ефективність самого процесу та якість одержаного гранульованого продукту.

Для ефективної проведення процесу слід розробити автоматизовану систему керування яка дозволить проводити процес в умовах високого виходу гранульованого продукту зі збереженням якості дисперсного складу.

## 2 Методи проектування розподілених систем автоматизації

### 2.1 Огляд SCADA систем

SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) – програмний пакет, призначений для забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки і відображення інформації про об'єкт моніторингу або управління. Цим терміном позначаються великі, розподілені системи спостереження та керування. Системи SCADA використовуються для спостереження та керування хімічними, фізичними, або транспортними процесами.

Цей програмний пакет, призначений для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління. SCADA може бути частиною АСУ ТП, АСКОЕ, системи екологічного моніторингу, наукового експерименту, автоматизації будівлі і т. д. SCADA-системи використовуються у всіх галузях господарства, де потрібно забезпечувати операторський контроль за технологічними процесами в реальному часі. Це програмне забезпечення встановлюється на комп'ютери і, для зв'язку з об'єктом, використовує драйвери введення-виведення або OPC / DDE сервери. Програмний код може бути як написаний на одній з мов програмування, так і згенерований в середовищі проектування [10].

Іноді SCADA-системи комплектуються додатковим ПО для програмування промислових контролерів. Такі SCADA-системи називаються інтегрованими і до них додають термін SoftLogic.

Термін «SCADA» має двояке тлумачення. Найбільш широко поширене розуміння SCADA як додатку, тобто програмного комплексу, що забезпечує виконання зазначених функцій, а також інструментальних засобів для розробки цього програмного забезпечення. Однак, часто під SCADA-системою мають на увазі програмно-апаратний комплекс. Подібне розуміння терміна SCADA більш характерно для розділу телеметрія [10].

Значення терміна SCADA зазнало змін разом з розвитком технологій автоматизації і управління технологічними процесами. У 80-ті роки під SCADA-системами частіше розуміли програмно-апаратні комплекси збору даних в реальному часі. З 90-х років термін SCADA більше використовується для позначення тільки програмної частини людино-машинного інтерфейсу АСУ ТП.

SCADA-системи вирішують наступні завдання:

- обмін даними з «пристроями зв'язку з об'єктом» (тобто з промисловими контролерами і платами вводу-виводу) в реальному часі через драйвери.
- обробка інформації в реальному часі.
- логічне управління.
- відображення інформації на екрані монітора в зручній і зрозумілій для людини формі.
- ведення бази даних реального часу з технологічною інформацією.
- аварійна сигналізація і управління тривожними повідомленнями.
- підготовка та генерування звітів про хід технологічного процесу.
- здійснення мережевої взаємодії між SCADA ПК.
- забезпечення зв'язку з зовнішніми додатками (СУБД, електронні таблиці, текстові процесори і т. д.).

SCADA-системи дозволяють розробляти АСУ ТП як автономні програми, а також в клієнт-серверної або в розподіленої архітектурі [11].

Термін SCADA зазвичай відноситься до централізованих систем контролю і управління всією системою, або комплексами систем, здійснюваного за участю людини. Більшість керуючих впливів виконується автоматично УСО (RTU) або ПЛК (PLC). Безпосереднє управління процесом зазвичай забезпечується RTU або PLC, а SCADA управляє режимами роботи. Наприклад, PLC може управляти потоком води, що охолоджує всередині частини виробничого процесу, а SCADA система може дозволити операторам змінювати уставки для потоку, змінювати маршрути руху рідини, заповнювати ті або інші ємності, а також стежити за тривожними

повідомленнями (алармами), такими як – втрата потоку і висока температура, які повинні бути відображені, записані, і на які оператор повинен своєчасно реагувати. Цикл управління зі зворотним зв'язком проходить через RTU або PLC, в той час як SCADA система контролює повне виконання циклу.

Збір даних починається в RTU або на рівні PLC і включає свідчення вимірювального приладу. Далі дані збираються і форматуються таким способом, щоб оператор диспетчерської, використовуючи HMI, міг прийняти контролюючі рішення – коригувати або перервати стандартне управління коштами RTU / PLC. Дані також можуть бути записані в архів для побудови трендів та іншої аналітичної обробки накопичених даних [11].

У 90-х роках з'явилися системи SCADA, що Працюють в середовищі Windows. Найвідоміші пакети Genesis 32 («Iconics», USA), Factory Suite («Wonder-ware», USA), Modicon Factory Link («US Data», USA), Genie («Advantech», USA), Simplicity HMI («GE Fanuc Automation», Японія), WinCC («Siemens AG», Німеччина). В Росії розроблено система Trace Mode («AdAstra»). У 2014 році українська інжинірингова компанія «НІК» представила свою інноваційну розробку – HMI / SCADA систему «PowerSyS». Такі системи забезпечують: наочно інформацію про Хід виробництва, відображення стану приводів і технологічного устаткування, деталізацію вибраних диспетчером частин процесу, розрахунок показників процесу в динаміці і виведення узагальненої інформації у вигляді графіків, таблиць або малюнків, розпізнавання передаварійних і аналіз аварійних ситуацій з рекомендаціями послідовності дій диспетчера, можливість управління виконавчими пристроями об'єкта з пульта диспетчера, створення архіву аварій, подій і поведінки процесу в часі, захист від недозволеного доступу до збору інформації і управління.

## **2.2 Основні завдання, які вирішуються SCADA-системами**

SCADA-система зазвичай містить наступні підсистеми:



- драйвери або сервери введення-виведення - програми, що забезпечують зв'язок SCADA з промисловими контролерами, лічильниками, АЦП і іншими пристроями введення-виведення інформації.
- система реального часу - програма, що забезпечує обробку даних в межах заданого тимчасового циклу з урахуванням пріоритетів.
- людино-машинний інтерфейс (HMI, англ. Human Machine Interface) – інструмент, який представляє дані про хід процесу людині оператору, що дозволяє оператору контролювати процес і керувати ним.
- програма-редактор для розробки людино-машинного інтерфейсу.
- система логічного управління - програма, що забезпечує виконання призначених для користувача програм (скриптів) логічного управління в SCADA-системі. Набір редакторів для їх розробки.
- база даних реального часу - програма, що забезпечує збереження історії процесу в режимі реального часу.
- система управління тривогами – програма, що забезпечує автоматичний контроль технологічних подій, віднесення їх до категорії нормальних, що попереджають або аварійних, а також обробку подій оператором або комп'ютером.
- генератор звітів – програма, що забезпечує створення призначених для користувача звітів про технологічні події. Набір редакторів для їх розробки.
- зовнішні інтерфейси - стандартні інтерфейси обміну даними між SCADA та іншими додатками. Зазвичай OPC, DDE, ODBC, DLL тощо.

## 2.3 Архітектура SCADA-систем

Залежно від складності керованого технологічного процесу, а також вимог до надійності, SCADA-системи будуються по одній з наступних архітектур [12]:

**Автономні.** При використанні даної архітектури система складається з однієї або декількох робочих станцій оператора, що не "знають" один про одного. Всі функції системи виконуються на єдиній (декількох незалежних) станції (ях).

Переваги:

- простота.

Недоліки:

- низька відмовостійкість;
- не забезпечується істинність даних (історичні дані можуть відрізнятися між різними станціями),

**Клієнт-Серверні.** В даному випадку система виконується на сервері, а оператори використовують клієнтські станції для моніторингу та управління процесом. Високонадійні системи будуються на базі подвійного або потрійного резервування серверів і дублювання клієнтських станцій оператора, дублювання здійснювати підключення до мережі сервер-сервер і клієнт-сервер. При даній архітектурі вже можливо поділ функцій SCADA-системи між серверами. Наприклад, збір даних і управління ПЛК виконується на одному сервері, архівування даних – на другому, а взаємодія з клієнтами – на третьому.

**Розподілені.** При використанні архітектури розподіленої системи управління (PCY) обчислення здійснюються на декількох взаємопов'язаних обчислювальних пристроях, часто з функцією взаємного резервування. Розподілені SCADA-системи з взаємним резервуванням відрізняються підвищеною надійністю.

## **2.4 Огляд SCADA-систем**

### **2.4.1. Середовище TRACE MODE**

TRACE MODE призначена для автоматизації промислових підприємств, енергетичних об'єктів, інтелектуальних будівель, об'єктів

транспорту, систем енергообліку тощо. Масштаб систем автоматизації, створених в TRACE MODE, може бути будь-яким - від автономно працюючих контролерів і робочих місць операторів (АРМ), до територіально розподілених систем управління, що включають десятки контролерів і АРМ, які обмінюються даними з використанням різних комунікацій - локальна мережа, інтернет/інтранет, послідовні шини на основі RS-232/485, виділені і комутовані телефонні лінії, радіоканал і GSM / GPRS-мережі. Причому, завдяки наявності в складі TRACE MODE компонентів T-Factory.exe, з'являється можливість комплексної автоматизації управління як технологічними, так і бізнес-процесами виробництва для досягнення високої економічної ефективності та швидкого повернення інвестицій[13].

TRACE MODE має вбудовані драйвери, що дозволяють підключати більше двох тисяч чотирьохсот найменувань пристроїв вводу/виводу – програмованих логічних контролерів, віддаленого УСО, плат вводу/виводу і промислових мереж. Підтримка специфікацій OPC DA і HDA, протоколів DDE і NetDDE, а також відкритий формат драйвера введення/виведення і можливість прямого звернення до динамічних бібліотек (DLL) засобами мови програмування ST визначають безпрецедентні можливості по включенню до складу систем автоматизації, що розробляються в TRACE MODE, різноманітного обладнання та обміну даними з зовнішніми додатками.

Класи систем, створюваних в TRACE MODE[13], можуть бути як інформаційно-вимірювальні (моніторингу), так і керуючі (НЦУ). Архітектура таких систем в свою чергу може бути як централізована, так і розподілена - в залежності від заданих вимог.

Особливе місце відводиться системам, що використовують вільнопрограмований контролери (PC-based і / або PAC-контролери), оскільки в цьому випадку в TRACE MODE застосовується єдиний інструмент створення інформаційного і математичного забезпечення, як для АРМ верхнього рівня, так і для контролерів, що реалізують нижній рівень в ієрархії систем автоматизації. Використання технології автопобудови і підхід до

розробки проекту розподіленої системи автоматизації як єдиного проекту істотно підвищують продуктивність праці розробників систем, значно зменшуючи частку рутинних ручних операцій і знижуючи кількість помилок, неминучих у великих проектах.

Надійний і високопродуктивний обмін даними між контролерами і АРМ в TRACE MODE обумовлений використанням логічного мережевого протоколу I-Net (поверх TCP / IP), або M-LINK – в разі використання послідовних комунікацій. Зберігання та доступ до інформації, що накопичується реалізується через потужну систему архівування технологічних параметрів СУБД РВ SIAD.

Динамічні характеристики і надійність створюваного в TRACE MODE програмного забезпечення АРМ і контролерів дозволяють застосовувати розроблені системи автоматизації в таких галузях промисловості як нафтохімія, металургія, енергетика, машинобудування, комунальне господарство, харчова промисловість, транспорт, а також при проведенні наукових досліджень[13].

#### **2.4.2. Середовище GENESIS32**

GENESIS32 є комплексом клієнтських і серверних додатків, заснованих на технології OPC (OLE for Process Control - технологія зв'язування та впровадження об'єктів для промислової автоматизації), які призначені для розробки прикладного програмного забезпечення візуалізації контрольованих параметрів, збору даних і оперативного диспетчерського управління в автоматизованих системах управління технологічними процесами (АСУТП)[14].

Технологія зв'язування і впровадження об'єктів для систем промислової автоматизації OPC (OLE for Process Control) призначена для забезпечення універсального механізму обміну даними між датчиками, виконавчими механізмами, контролерами, пристроями зв'язку з об'єктом і системами уявлення технологічної інформації, оперативного диспетчерського

управління, а також системами управління базами даних. До складу GENESIS32 входять наступні клієнтські програми, відповідні специфікації OPC: GraphWorX32, TrendWorX32, AlarmWorX32. Зазначені додатки можуть замовлятися і застосовуватися як в складі комплексу, так і автономно.

GraphWorX32 об'єднує засоби розробки і перегляду графічних мнемосхем автоматизованих робочих місць оператора АСУТП. GraphWorX32 є інструментальним засобом, призначеним для візуалізації контрольованих технологічних параметрів і оперативного диспетчерського управління на верхньому рівні АСУТП, який повністю відповідає вимогам до клієнта OPC і підтримує технології ActiveX і OLE.

TrendWorX32 представляє відкрите рішення по високопродуктивної побудови графічних залежностей контрольованих параметрів. Підтримує специфікацію OPC доступу до історичних даних, що встановлює вимоги до підсистеми вилучення та подання історичних даних з баз даних архіву. Пакет TrendWorX32 забезпечує накопичення і представлення поточних даних у вигляді графічних залежностей від часу. Крім того, TrendWorX32 є потужним засобом архівації накопичуваної інформації в базах даних з можливістю подальшого вилучення та перегляду на графіках.

Модуль AlarmWorX призначений для виявлення, фільтрації та подання інформації про аварійні події. Передбачені можливості завдання різних форматів відображення, звукові попередження тощо Для поділу повідомлень передбачається можливість їх фільтрації за різними ознаками, що дозволяє сконцентрувати увагу оператора на найбільш важливій інформації. Можливе створення вікон з незалежними інструкціями оператору для кожної аварійної ситуації. AlarmWorX має вбудований інструмент програмування на мові, сумісному з VBA.

Genesis 32 в якості скриптового мови використовує Microsoft Visual Basic for Applications (MS VBA)[14]. Інтегроване середовище розробки Visual Basic - додатків, спливаючі підказки, що демонструють синтаксис виклику процедур, списки доступних властивостей об'єктів, система перегляду

бібліотек об'єктів (Object Browser), вбудована довідкова система і відладчик - все це значно підвищує зручність написання програм. Крім цього, Basic є одним з найбільш легких в освоєнні мов програмування.

### **2.4.3. WinCC(Siemens SIMATIC)**

WinCC це потужна система людино-машинного інтерфейсу, що працює під управлінням операційної системи Microsoft Windows. Автоматизація процесу дозволяє підтримувати фактичний контроль над всім процесом, для чого організовується два види зв'язку: між WinCC і оператором та між системою автоматизації і WinCC[15].

Зв'язок між WinCC і оператором потрібна для того, щоб здійснити між WinCC і оператором і між системою автоматизації і WinCC візуалізацію технологічного процесу -в зручній формі відображається стан процесу, що дозволяє оператору ефективно стежити за всіма змінами технологічного процесу в усіх розділах графічно.

Другий напрямок зв'язку з цим полягає в можливості розроб-лення графіческогointерфейса оператора. За допомогою цього інтерфейсу WinCC забезпечує управління процесом з боку оператора. Наприклад, оператор може задавати значення уставок регуляторів або відкривати клапани, засувки, включати і вимикати пристрої і т.п. Крім графічної візуалізації, генерується система аварійних повідомлень про критичний стан процесу. Крім того, в WinCC налагоджена система документування та архівування значення даних технологічного процесу. WinCC може працювати як частина комплексної системи автоматизації в рамках концепції SiemensTIA (Totally Integrated Automation [Повністю інтегрована автоматизація]). Крім того, нею підтримуються системи автоматизації інших виробників. WinCC може обмінюватися даними з іншими IT-рішеннями, використовуючи стандартизовані інтерфейси, наприклад, з такими додатками, як Microsoft Excel. Відкриті програмні інтерфейси WinCC дозволяють користувачеві створювати і вбудовувати свої програми для управління процесом і даними

процесу. Конфігурація проектів WinCC дозволяє створювати дуже різноманітні за складністю та можливостям проекти. WinCC підтримує створення різноманітних систем, від одного користувача і систем з архітектурою клієнт-сервер до розподілених резервованих систем з декількома серверами. Створена конфігурація WinCC може бути змінена згодом в будь-який час і ця зміна не викличе конфлікту з існуючими проектами.

Основні можливості WinCC[16]:

- візуалізація техпроцесу (Graphic Designer)
- конфігурація та налаштування зв'язку з контролерами різних виробників (Tag Management)
- відображення, архівування та протоколювання повідомлень від технологічного процесу (Alarm Logging)
- відображення, архівування та протоколювання змінних (Tag Logging)
- розширення можливостей системи за рахунок використання скриптів на мовах ANSI C, VBS і VBA
- проектування системи звітності (Report Designer)
- взаємодія з іншими додатками, в тому числі і по мережі, завдяки використанню стандартних інтерфейсів OLE, ODBC і SQL забезпечує просту інтеграцію WinCC у внутрішню інформаційну мережу підприємства.
- просте побудова систем клієнт-сервер.
- побудова резервованих систем.
- розширення можливостей шляхом використання елементів ActiveX.
- відкритий OPC-інтерфейс (OLE for Process Control).
- взаємодія з пакетом Simatic Step 7.

#### 2.4.4. InTouch (Schneider)

InTouch вже більше 25 років займає лідируючі позиції серед людино-машинних інтерфейсів (НМІ). Будучи провідним на ринку інноваційним продуктом, це рішення характеризується неймовірною простотою використання, чудовою графікою, унікальними можливостями підключення, кращої в галузі службою підтримки і найбільш широкої партнерської екосистемою.

InTouch використовується на більш ніж однієї третини промислових об'єктів в світі, ПО InTouch забезпечує незмінну ефективність за рішенням наступних ключових завдань:

- простота проектування
- операційна гнучкість
- бездоганне управління продуктивністю в режимі реального часу для забезпечення максимальної рентабельності
- підвищення гнучкості
- зниження витрат, ризиків і підвищення безпеки

Замість формування цілої бібліотеки графічних елементів, функції НМІ InTouch дозволяють розробникам додатків сконцентруватися на створенні висококонтекстуального і інтерпретативного візуального контенту, розробці максимально ефективних НМІ-додатків і користувацьких інтерфейсів для забезпечення високих стандартів операційної діяльності та усунення надзвичайних ситуацій[17].

Підхід компанії Wonderware до подання інформації дозволяє знизити час обробки проблеми і приділити більше уваги аналізу ситуації в цілому і даними, забезпечує наявність зручних інформаційних дисплеїв і вдосконаленої системи аварійних тривог, що дозволяє сконцентруватися на реальній проблемі; правильне використання колірної гами дозволяє підвищити ефективність роботи оператора, зменшити вплив відволікаючих чинників, фактора втоми.



## 2.5. Мови програмування, реалізовані у SCADA-системах

SCADA-система має в комплекті програмне забезпечення, яке дозволяє програмувати контролер для задач АСУТП технологічного об'єкта управління. Потрібно сказати, програма в ПЛК виконується циклічно з певною частотою. Можливості залежать від контролера, зазвичай це десь 20, 50, 250 мс, 1, 2, 3, 4, 5 с., до початку наступного циклу попередній повинен бути завершений. Єдиний пакет або кілька пакетів не становлять труднощів при їх освоєнні, оскільки всі вони програмуються на мовах стандарту ІЕС 6-1131/3 (українською мовою МЕК 6-1131/3). Стандарт Міжнародної електротехнічної комісії описує п'ять мов програмування[18]:

1. IL (Instruction List) – низькорівнева асемблероподібна мова програмування.
2. LD (Ladder Diagram) – графічна мова, представляє собою програмну реалізацію електричних схем на базі електромагнітних реле. IL і LD легко конвертуються один в одного всіма середовищами програмування. Вони складні для сприйняття, і тому незручні для розробки, але в ситуаціях, коли внутрішньої пам'яті контролера замало, доводиться писати на них.
3. ST (Structured Text) – текстова мова програмування дуже схожа на мову програмування Паскаль.
4. FBD (Function Block Diagram) – графічна мова. Програма складається з функціональних блоків, які представляють собою підпрограми, написані на будь-якому з мов стандарту МЕК61131. У кожного ФБ є входи і виходи, які з'єднуються з входами і виходами інших ФБ.
5. SFC (Sequential Function Chart) – графічний високорівнева мова. Створено на базі математичного апарату мереж Петрі. Описує послідовність станів і умов переходів. Надзвичайно рідко використовується на практиці.

Даний стандарт розробляється з 1993 року Міжнародної Електротехнічної Комісією (International Electrotechnical Commission) і давно

визнаний як в Європі і в США, так і в усьому світі провідними виробниками засобів автоматизації.

Нижче наведені основні можливості зазначених мов програмування.

**Мова FBD** призначена для інженерів-технологів, які вирішують завдання управління технологічним процесом[18]. Важко придумати більш наочний засіб для програмування контурів управління і регулювання. Програма на FBD є схемою, що складається з набору функціональних блоків, пов'язаних між собою через входи і виходи. В середньому, в SCADA системах включено понад 150 типових функціональних блоків, що реалізують широкий набір функцій - від найпростіших логічних операцій до готового адаптивного регулятора. Фільтрація, ПІД, модальное, нечітке, позиційне регулювання, ШИМ-перетворення, статистичні, тригонометричні, а також блоки управління клапанами, засувкою, мотором - все це реалізовано у вигляді стандартних FBD-блоків.

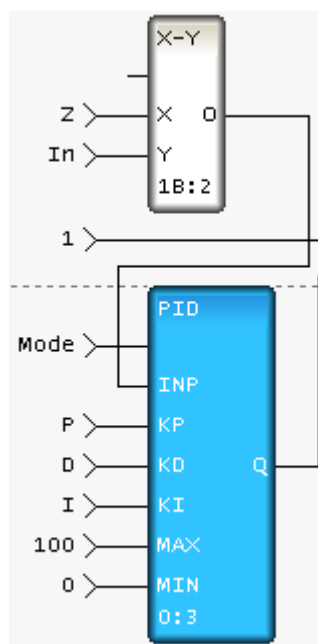


Рис. 2.1 – Приклад програми мовою FBD

**Мова LD** сподобається інженерам, які звикли до складання схем релейного логіки[18]. Зовні редактор LD дуже схожий на редактор FBD, тільки замість функціональних блоків користувачеві пропонується використовувати

"контакти" і "котушки". При бажанні в схему Techno LD можна включати і вкраплення зі звичайних блоків FBD.

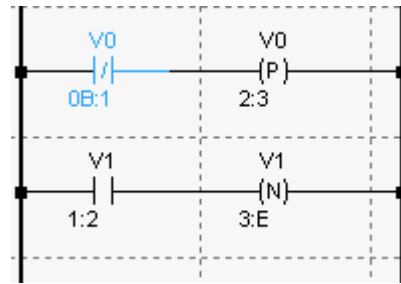


Рис. 2.2 – Приклад програми мовою LD

**ST** орієнтований насамперед на програмістів, він являє собою мову програмування високого рівня, схожий на Паскаль[18]. У ньому підтримуються масиви (в тому числі багатовимірні), контроль перетворення типів, присутні такі конструкції як DO-WHILE, REPEAT-UNTIL, FOR-TO-DO, IF-THEN-ELSE, CASE-OF і інші інтуїтивно зрозумілі будь-якому програмісту оператори. Тема програми будується автоматично за списком аргументів, що дозволяє економити час на оформленні програми. Службові слова, мітки, коментарі і числові константи виділяються кольором, як це прийнято в сучасних середовищах розробки, настройки кольорів доступні користувачеві.

```
PROGRAM
  VAR_INPUT ARG_000 : REAL; END_VAR
  VAR_INOUT ARG_001 : REAL; END_VAR

  WHILE ARG_000 > 2 DO ARG_000 = ARG_000-1;
  ARG_001 = ARG_001 + 2;
  END_WHILE;

END_PROGRAM
```

Рис. 2.3 – Приклад програми на мові ST

**IL** це найпростіший мова мнемонічних інструкцій, що зовні нагадує асемблер[19]. Ця мова була включеною в стандарт для програмування контролерів, які мають низьку обчислювальну потужність. Програми IL легко транслюються в машинні коди будь-якого процесора, що дозволяє створювати дуже швидкі програми. Однак, на сьогоднішній день проблема продуктивності давно вирішена, і IL не має ніяких переваг перед ST або FBD, тим більше, коли

мова йде про програмування операторської станції. Проте, ця мова досі використовується для підтримки застарілого обладнання.

```

ADD VAR_000 2.6
LT VAR_000 VAR_001
JMPG label1
GT VAR_001 20
JMPG label2
LD 278
label1:
CAL FUNCTION1(VAR_000, 3)
label2: ST VAR_001

```

Рис. 2.4 – Приклад програми на мові IL

**SFC** це потужний засіб структурування складних алгоритмів[20]. По суті SFC не є самостійною мовою. У перекладі з англійської аббревіатуру SFC можна перевести як "схема функціональної послідовності". Зовні програма на SFC схожа на блок-схему алгоритму, на якій відображені окремі програмні блоки (кроки), переходи між ними і умови, за якими виконуються ці переходи. Кожен програмний блок, як і кожне умова переходу - це підпрограма будь-якою мовою стандарту МЕК 6-1131/3. Ця мова дуже зручна для програмування стадійних (batch) процесів, систем дозування і бізнес-додатків. SFC може бути легко використаний як інженерами, так і бізнес-аналітиками.

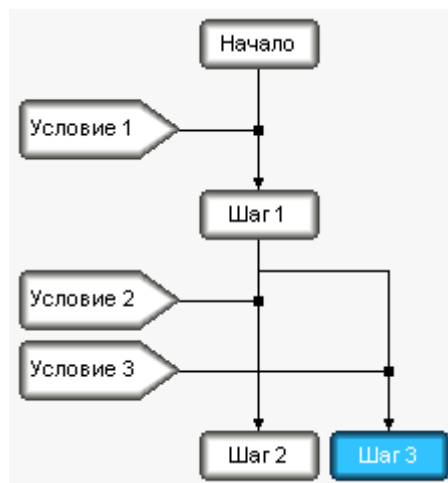


Рис. 2.5 – Приклад програми на мові SFC

## Висновки до розділу 2

Оглянувши перелік SCADA систем, їх сильні і слабкі сторони, функціонал та можливості, було прийняте рішення використовувати в дисертації пакет Trace Mode 6 компанії AdAstra.

На відміну від деяких інших SCADA-систем, в яких реалізуються інтерпретатори мов MEK 6-1131/3, середовище розробки TRACE MODE 6 компілює в машинні коди програми, написані на всіх 5 мовах, в тому числі SFC. Це дозволяє досягти максимальної продуктивності обробки інформації в реальному часі.

У систему TRACE MODE® 6 включені 5 мов програмування стандарту MEK 6-1131/3: 2 текстових (Techno ST, Techno IL), орієнтованих на програмістів і 3 візуальних мови (Techno FBD, Techno SFC, Techno LD), орієнтованих на інженерів і бізнес-аналітиків. Дані мови програмування TRACE MODE 6 є розширенням вищеперелічених мов. За допомогою мов IEC 61131-3 TRACE MODE® 6 однаково комфортно програмуються як контролери, так і алгоритми людино-машинного інтерфейсу.

Мови TRACE MODE® 6 поєднують в собі достатню функціональність, простоту і оберігають користувача TRACE MODE® 6 від більшості помилок, які нерідко виникають при використанні звичайних мов програмування. Реалізація MEK 6-1131/3 в інтегрованій SCADA системі TRACE MODE® 6 не тільки повністю задовольняє вимогам стандарту, але і надає користувачеві додатковий сервіс у вигляді розширеного набору бібліотек функціональних блоків, що реалізують типові алгоритми управління.

Для всіх 5 мов існує єдиний механізм зв'язку з базою даних реального часу TRACE MODE® 6. Кожна програма має набір аргументів, вихідні дані передаються в програму через вхідні аргументи, а результати обчислень повертаються в вихідних аргументах. Аргументи зв'язуються з атрибутами каналів TRACE MODE 6, тобто з реальними входами і виходами контролерів і УСО, осередками корпоративних баз даних, або з внутрішніми змінними. Таким чином, одна і та ж програма може викликатися кілька разів за цикл для обробки різних потоків даних.

Програмування та налагодження програм проводиться в інтегрованому середовищі розробки, що включає в себе кілька різних редакторів. Програми на мовах Techno FBD, Techno LD і Techno SFC створюються і відладжуються в спеціальних візуальних редакторах, а Techno ST і Techno IL є більш традиційними мовами, програмування на яких здійснюється в текстовому редакторі. Незважаючи на відмінності, програми на різних мовах можуть взаємодіяти між собою. Наприклад, програма на Techno FBD може викликати функціональний блок, написаний на мові Techno ST, а всередині цього блоку може викликатися підпрограма на Techno LD тощо Така гнучкість у виборі засобів опису алгоритмів дозволяє ефективно працювати над одним завданням і програмісту, і технологу, і інженеру-налагоджувальникові і бізнес-консультанту, коли кожен з них виконує свою частину роботи зручним йому способом.

Мовою програмування було обрано мову функціональних блоків FBD і ST.

Програмування функціональними блоками якнайкраще підходить під задачу. Програмовані на інших мовах стандарту МЕК 6-1131/3 функціональні блоки прискорюють написання програм, оскільки, наприклад, не потрібно писати програму для ПД регулятора, а можна відразу скористатись функціональним блоком який має весь функціонал написаної програми. Також, це виключає можливість допущення помилки при написанні програм функціонал яких аналогічний функціональним блокам. Більше 150 функціональних блоків забезпечують гнучкість програмування.

Мова ST проста в розумінні і інтуїтивно зрозуміла для програмістів будь-якого рівня. В даній ситуації, на ній можна писати невеликі і прості програми, які не потребують складних математичних розрахунків.

### **3 ПІДГОТОВЧІ СТАДІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ГРАНУЛЯЦІЇ СУЛЬФАТУ АМОНІЮ**

#### **3.1 Обґрунтуванням необхідності розрахунків**

В основу будь-якого технохімічного розрахунку покладені два основних закони: 1) закон збереження маси речовини і 2) закон збереження енергії. Закон збереження мас речовин полягає в тому, що у будь-якій замкнутій системі маса речовини залишається постійною, незалежно від того, які зміни зазнають речовини в цій системі. Для розрахунку матеріального балансу будь-якого процесу виробництва цей закон приймає наступне просте формулювання: маса вихідних продуктів процесу повинна бути рівною масі його кінцевих продуктів. Отже, коли проводиться матеріальний розрахунок процесу, необхідно враховувати масу кожного компонента, що надходить в даний апарат (прихід) і масу кожного компонента, що минає з апарату (витрата). Сума приходу компонентів повинна дорівнювати сумі витрат, незалежно від складу продукту при надходженні і виході, тобто незалежно від того, яких змін вони зазнали в даному апараті.

У промисловій практиці досить часто доводиться мати справу з обчисленнями кількісних співвідношень між компонентами початкових і кінцевих продуктів виробництва, в основі якого лежать фізичні процеси. При цих процесах не утворюється нових компонентів, а тільки відбуваються зміни складу продуктів, які піддаються обробці або зберіганню при певних умовах. Тому, складаючи матеріальний баланс цих процесів, слід мати на увазі, що в вхідній і вихідній його частинах беруть участь одні й ті ж компоненти, але тільки в різних кількісних співвідношеннях.

#### **3.2 Аналіз структури ХТС**

Технологічна схема процесу зневоднення та грануляції зображена на рисунку 3.1

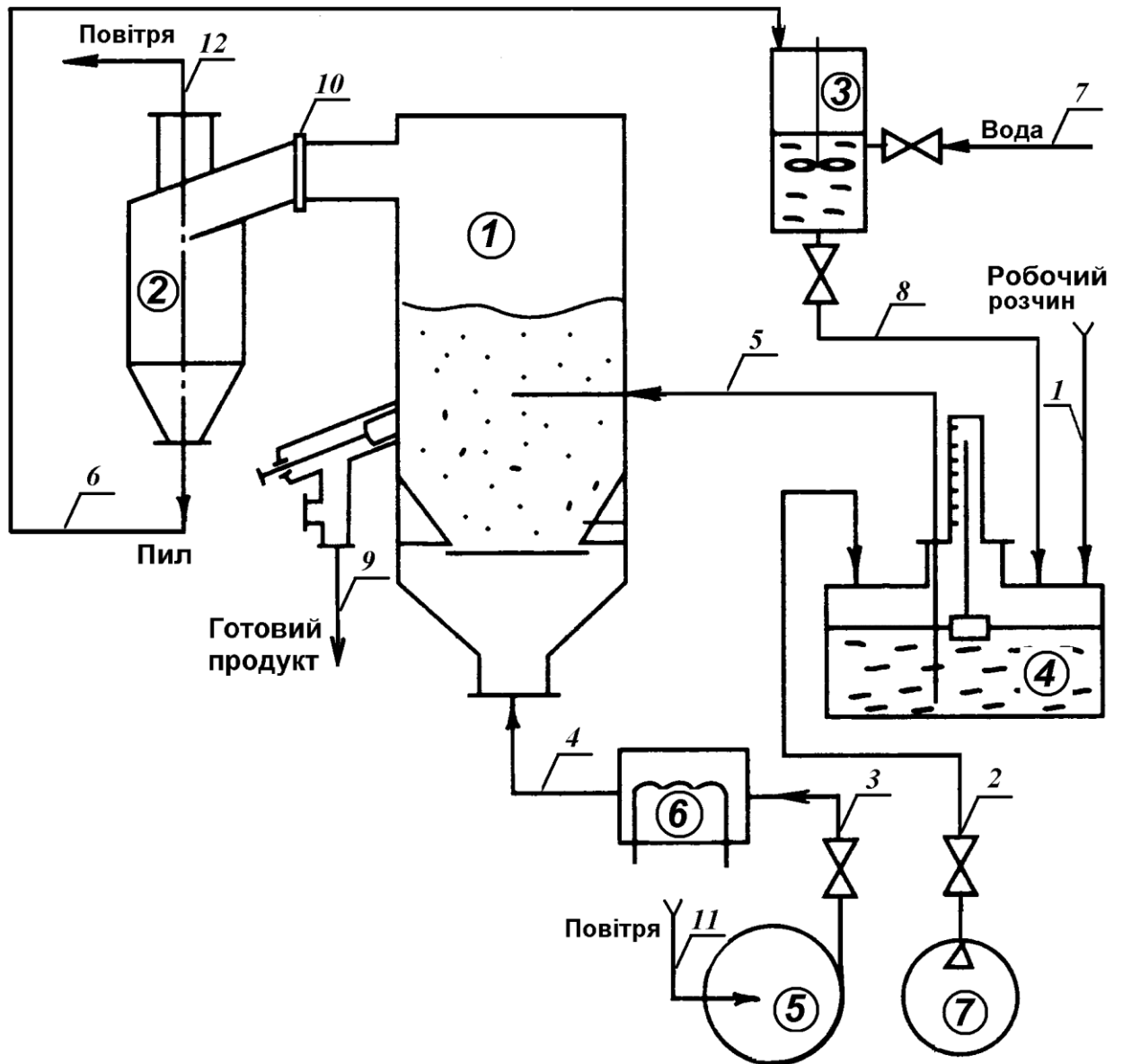


Рис. 3.1 - Технологічна схема процесу зневоднення та грануляції. 1 - апарат із псевдозрідженим шаром; 2 - циклон; 3 – ємність з мішалкою, 4 – бак робочого розчину; 5 - газодувка; 6 – нагрівач ; 7 – компресор.

Технологічна схема (рис. 3.1) має зворотні зв'язки, тобто є замкненою. Тому перед розрахунком схеми, необхідно провести структурний аналіз, основна мета якого отримати послідовність розрахунку схеми[21].

Параметри потоків наведені в таблиці 3.1. Розглянуту схему зневоднення та грануляції сульфату амонію можна представити у вигляді структурної схеми, зображеної на рисунку 3.2.



Таблиця 3.1 – Параметри потоків.

№ потоку	Речовина	Параметри	Значення
1	Робочий розчин	Температура Концентрація Розчинена речовина	25 °C 40 % мас (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
4	Повітря	Температура	205 °C
6	Пил продукту	Вологість	10 %
7	Вода	Температура	20 °C
9	Гранульований продукт	Вологість	9 %
11	Повітря	Температура Вологість	20 °C 2,5 %

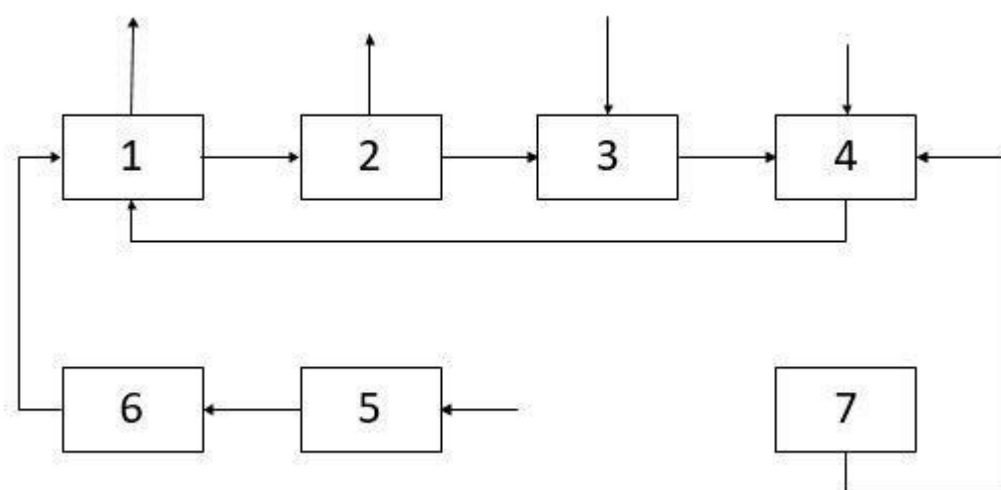


Рисунок 3.2 – Структурна схема зневоднення та грануляції сульфату амонію

Визначимо послідовність розрахунку апаратів, для цього складемо матрицю суміжності «А»:

А =

0	1	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0

Для визначення комплексів підносимо матрицю  $A$  до 7-го ступеня (розрахунки виконано в середовищі Matlab). Отримана матриця комплексів матиме вигляд:

```
C =
7x7 logical array

1 1 1 1 0 0 0
1 1 1 1 0 0 0
1 1 1 1 0 0 0
1 1 1 1 0 0 0
1 1 1 1 0 1 0
1 1 1 1 0 0 0
1 1 1 1 0 0 0
```

Далі використовується логічне множення матриці  $C$  і  $C$  транспонованої:

```
B =
7x7 logical array

1 1 1 1 0 0 0
1 1 1 1 0 0 0
1 1 1 1 0 0 0
1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0
```

З матриці видно, що система містить 1 комплекс  $K = \{1, 2, 3, 4\}$ . Звідси попередня послідовність розрахунку схеми: ППРС =  $[K, 5, 6, 7]$ .

Список суміжності для отриманого комплексу складений в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Список суміжності

Вхід	1	2	3	4
Вихід	2	3	4	1

Прадерево комплексу наведено на рисунку 3.3.

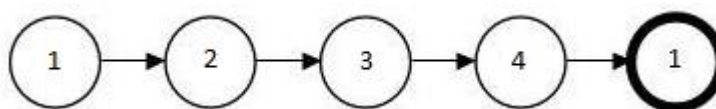


Рисунок 3.3 – Прадерево комплексу

Як видно з рисунку схема містить 1 контур: 1-2-3-4-1. Тому можемо розірвати один будь-який зв'язок.

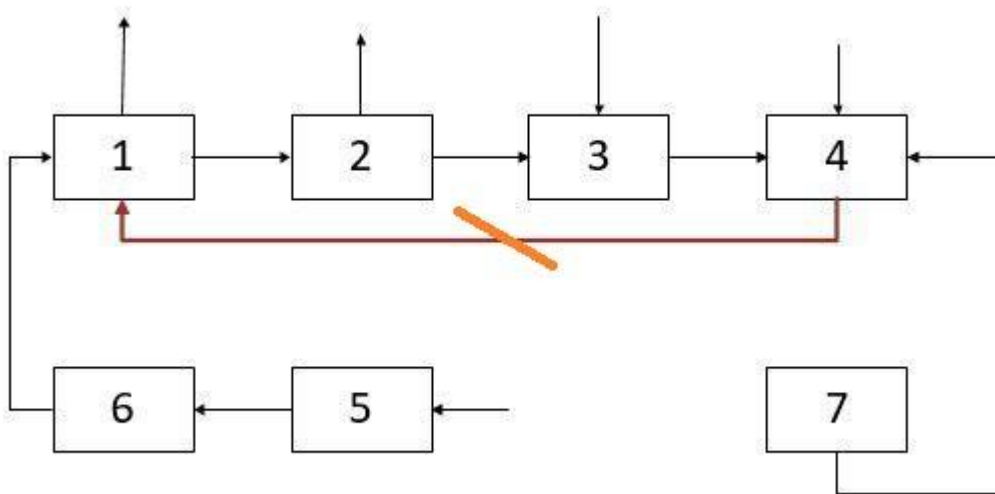


Рисунок 3.4 – Розрив рециклу

Отже, оптимальна послідовність розрахунку схеми: ОПРС = [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

### 3.3 Розрахунок матеріальних балансів

Для розрахунку матеріального балансу технологічної схеми використовую програмний продукт ChemCad. Побудована схема зневоднення та грануляції зображена на рисунку 3.5. гранулятор замінено сепаратором та випарником.

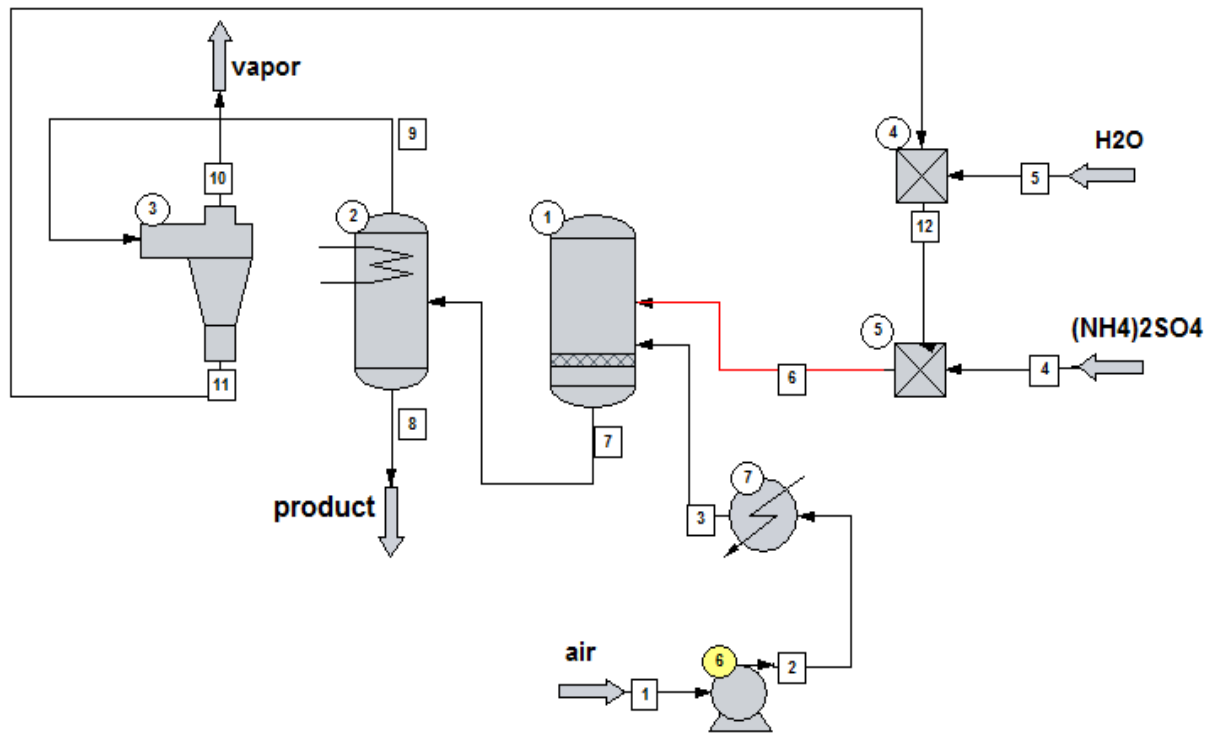


Рис. 3.5 – Схема зневоднення і грануляції сульфату амонію у ChemCad:  
1 – випарник 2 – сепаратор, 3 – циклон, 4, 5 – змішувачі, 6 – насос, 7 – теплообмінник

Відповідність апаратів на технологічній та структурній схемі показана в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Відповідність апаратів

Назва апарату	Номер на ТС	Номер на СС
Гранулятор	1	1
Розділювач	-	2
Циклон	2	3
Ємність з мішалкою	3	4
Бак робочого розчину	4	5
Газодувка	5	6
Нагрівач	6	7
Компресор	7	-

Схема має лише один зворотній зв'язок (з 3-го апарату в 4-й).

У таблиці 3.4 відображені вхідні та вихідні потоки кожного апарату.

Таблиця 3.4 – Перелік обладнання в ChemCad

№	Апарат	Ім'я в симуляторі	Вхідні потоки	Вихідні
1	Випарник	Multipurpose Flash(FLAS)	6, 3	7
2	Розділювач	Component Separator(CSEP)	7	8, 9
3	Циклон	Cyclone(CYCL)	9	10, 11
4	Змішувач	Stream mixer(MIXE)	11, 5	12
5	Змішувач	Stream mixer(MIXE)	12, 4	6
6	Насос	PUMP	1	2
7	Нагрівач	Simple Heat Exchanger(HTXR)	2	3

Матеріальний баланс кожного з апаратів представимо у вигляді таблиць. Матеріальний баланс змішувача (поз. 5) наведений у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Матеріальний баланс змішувача

Компоненти	Змішувач 5		
	Вхід		Вихід
	4 потік	12 потік	6 потік
	кг/год	кг/год	кг/год
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	220		255,8107
Пил (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> з рециклу		35,8107	
Вода(H <sub>2</sub> O)	330	58	388
Всього	643,8107		643,8107

Матеріальний баланс випарника (поз. 1) наведений у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Матеріальний баланс випарника

Компоненти	Випарник 1		
	Вхід		Вихід
	6 потік	3 потік	7 потік
	кг/год	кг/год	кг/год
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	255,8107		
Пил і гранулят (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			255,8107
Вода (H <sub>2</sub> O)	388		
Повітря		95	95
Пара (H <sub>2</sub> O)			388
Всього	738,8107		738,8107

Матеріальний баланс розділювача (поз. 2) наведений у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Матеріальний баланс розділювача

Компоненти	Розділювач 2		
	Вхід	Вихід	
	7 потік	9 потік	8 потік
	кг/год	кг/год	кг/год
Пил і гранулят $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	255,8107		
Гранулят $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$			219,9972
Пил $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,		35,8135	
Пара $\text{H}_2\text{O}$	388	388	
Повітря	95	95	
Всього	738,8107	738,8107	

Матеріальний баланс циклона (поз. 3) наведений у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Матеріальний баланс циклону

Компоненти	Циклон 3		
	Вхід	Вихід	
	9 потік	11 потік	10 потік
	кг/год	кг/год	кг/год
Пил $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	35,8135		
Пил $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , що йде на рецикл		35,8107	
Пил $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , що відходить в атмосферу			0,0028
Пара $\text{H}_2\text{O}$	388		388
Повітря	95		95
Всього	518,8135	518,8135	

Матеріальний баланс змішувача (поз. 4) наведений у таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Матеріальний баланс змішувача

Компоненти	Змішувач 4		
	Вхід		Вихід
	11 потік	3 потік	12 потік
	кг/год	кг/год	кг/год
Пил $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	35,8107		35,8107
Вода( $\text{H}_2\text{O}$ )		58	58
Всього	93,8107		93,8107

До таблиці 3.10 виведемо загальний матеріальний баланс

Таблиця 3.10 – Загальний матеріальний баланс

Загальний матеріальний баланс	кг/год	
	Вхід	Вихід
Повітря	95	95
Вода	388	
Пар		388
Сульфат амонію	220	
Гранулят сульфату амонію		219,9971
Пил, який не вловився (відходить у атмосферу)		0,0028
Пил сульфату амонію що повертається на рецикл	35,8107	
Всього	738,8107	738,8107

На основі виконаних розрахунків можна зробити висновок, що матеріальний баланс процесу зневоднення і грануляції сульфат амонію у спеціалізованому середовищі ChemCad v. 6.3.1 розрахований вірно.

### 3.4 Розробка схеми автоматизації

Розробка системи автоматизації є одним із найважливіших етапів проектування виробництва, оскільки на даному етапі визначають основні параметри процесів, що проходять під час виробництва, та методи підтримки цих параметрів на заданому рівні. Підтримка необхідних значень параметрів, для хімічної технології, є дуже важливим, так як хімічні процеси є дуже специфічними і недотримання технології на одному з етапів виробництва може призвести як до великих економічних втрат, так і до техногенної катастрофи. Автоматичний контроль та керування технологічними процесами забезпечують високу якість продукції, раціональне використання сировини та енергії, подовження термінів міжремонтного пробігу устаткування, зменшення чисельності технічного персоналу. Впровадження спеціальних

автоматичних пристроїв сприяє безаварійній роботі устаткування, виключає випадки травматизму, попереджає забруднення атмосферного повітря промисловими викидами.

Основні параметри, що впливають на процес зневоднення та грануляції це: температура псевдозрідженого шару у грануляторі 1 (рис. 1), витрати повітря з нагрівача 5 (рис. 1); концентрація розчину в баку з мішалкою 3 (рис.1).

Тому необхідним є стабілізація температури у грануляторі на заданому рівні, регулювання витрати повітря з нагрівача та стабілізування концентрації в баку з мішалкою[22]. Для забезпечення необхідного виходу сульфату амонію та протікання процесу необхідно ввести такі контури автоматизації:

- стабілізації температури у грануляторі шляхом регулювання температури повітря за допомогою регулюючого механізму на байпасному трубопроводі ;
- контроль температури в трубопроводі перед гранулятором;
- регулювання витрат повітря шляхом зміни кількості обертів газодувки;
- контроль витрат робочого розчину в трубопроводі перед баком для робочого розчину;
- регулювання живлення гранулятора шляхом зміни тиску повітря яке надходить з компресора за допомогою регулюючого механізму;
- контроль витрати води перед ємністю з мішалкою;
- сигналізацію зниження робочого розчину у баку робочого розчину менше ніж 20% рівня;
- сигналізацію зниження робочого розчину у баку робочого розчину більш ніж 80% рівня;
- регулювання концентрації розчину в баку перемішування шляхом зміни витрат води у вхідному в потоці.

На підставі аналізу технологічної схеми було визначено необхідний рівень автоматизації виробництва. В результаті чого обрано параметри об'єкту автоматизації, що підлягають контролю та регулюванню.



Відповідно до обраних параметрів регулювання, контролю, сигналізації були обрані місця для заміру параметру на технологічному об'єкті та номінальні значення параметрів, межі їх зміни. Обрані дані занесено до таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Параметри регулювання та контролю виробництва

№ з/п	Найменування стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Найменування параметра, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до рівня автоматизації
1	Гранулятор	Температура	90-100 °С	Контроль, регулювання
2	Трубопровід подачі теплоносія до гранулятора	Температура	200-210 °С	Контроль, регулювання
3	Трубопровід подачі повітря з газодувки	Витрата	2 м <sup>3</sup> /сек	Контроль, регулювання
4	Бак робочого розчину	Рівень	20-80%	Контроль
5	Трубопровід подачі робочого розчину з цеху виробництва капролактаму	Витрата	550 ± 5 кг/год	Контроль
6	Трубопровід подачі речовини для сушки та гранулювання з баку робочого розчину	Витрата	643 ± 5 кг/год	Контроль, регулювання
7	Трубопровід подачі пилу грануляту в ємність з мішалкою	Витрата	35 ± 5 кг/год	Контроль
8	Трубопровід подачі води в ємність із мішалкою	Витрата	58 ± 5 кг/год	Контроль
9	Ємність з мішалкою	Концентрація	40%	Контроль, регулювання

Розроблена функціональна схема автоматизації процесу зневоднення та грануляції наведена в додатку А. До її складу входять 4 контури контролю і регулювання та 4 контури контролю і один контур сигналізації.

### **Висновки до розділу 3**

На стадії підготовки до реалізації системи автоматизації за допомогою SCADA-системи, проведено аналіз структури технологічного процесу зневоднення та грануляції у псевдохрідженому шарі, знайдено оптимальну послідовність розрахунку технологічної схеми, розраховано матеріальний баланс в спеціалізованому середовищі ChemCad v. 6.3.1. Розроблено функціональну схему автоматизації процесу зневоднення та грануляції, до якої входять 4 контури контролю і регулювання та 4 контури контролю і один контур сигналізації.

## **4. РОЗРОБКА РОЗПОДІЛЕНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ**

Розподілена система керування (PCY, англ. DCS, Distributed Control System, DCS) – це система управління технологічним процесом, з розподіленою системою введення-виведення і децентралізованою системою обробки даних. РСК – це частина системи виробництва, вони використовуються в промислових і цивільних інженерних додатках для моніторингу і контролю розподіленого обладнання з дистанційним втручанням людини.

Розподілена система управління є широким терміном, який описує рішення по автоматизації в різних галузях промисловості: мережі електропостачання та установки по виробництву електроенергії; нафтопереробка, хімічні та нафтохімічні підприємства; фармацевтика, системи управління дорожньо-транспортним рухом і т.д.

Архітектура РСК може мати на увазі як використання безпосереднього підключення до фізичного обладнання, таким як комутатори, насоси, клапани, так і підключення через вторинний системи, такі як системи SCADA.

РСК – це система, в загальному випадку, не вимагає втручання з боку оператора при її нормальній експлуатації, але злиття PCY і SCADA передбачає наявність керуючого впливу з боку оператора за допомогою системи SCADA.

### **4.1. Розробка візуальної моделі**

Для візуалізації процесу зневоднення і грануляції було побудовано технологічну схему в середовищі Trace Mode 6. Всі графічні елементи побудовані можливостями середовища Trace Mode 6. На схемі зображено цех зневоднення та грануляції. Біля гранулятора показується розраховане значення виходу готового продукту. На корпусі ємності перед гранулятором зображений рівнемір для визначення рівня рідини в ємності. Зправа біля ємності є регулятор витрати робочої речовини для втручання в процес оператором під час критичних ситуацій. Схема зображена на рисунку 4.1.

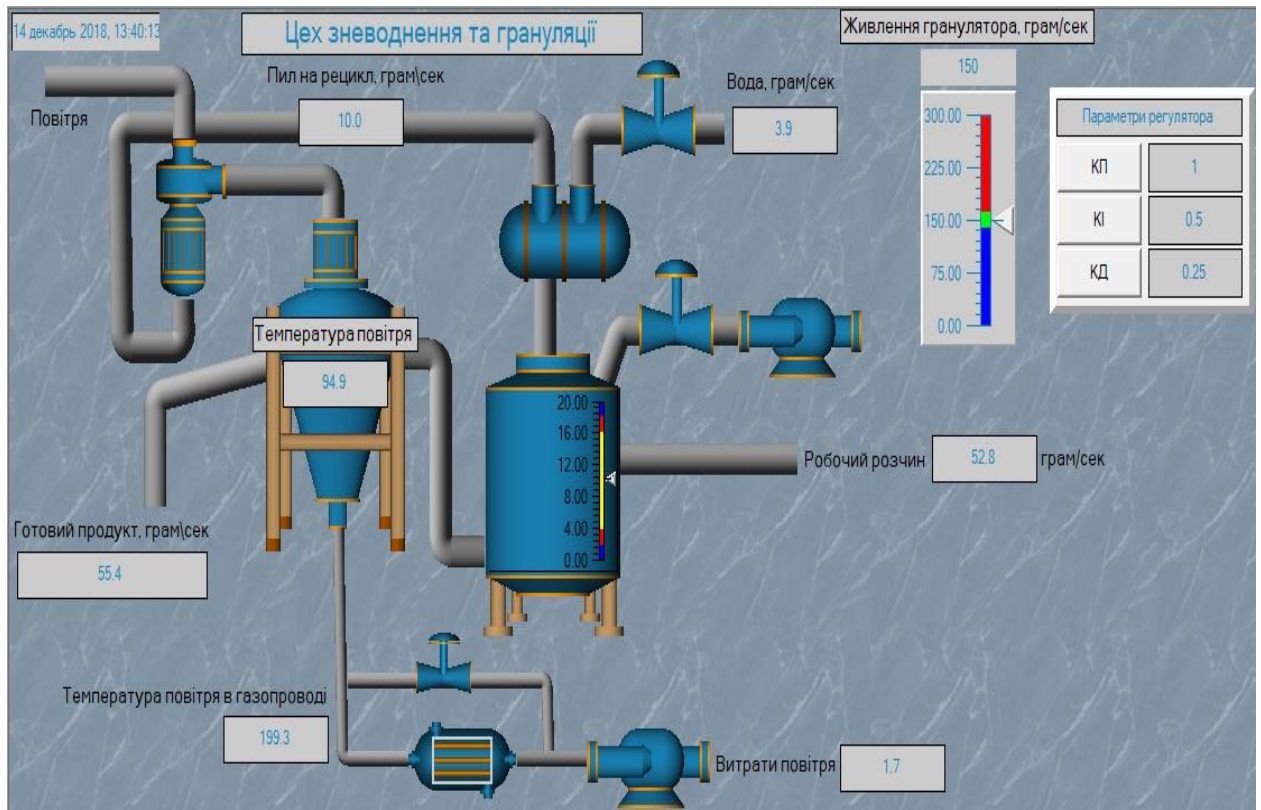


Рисунок 4.1 – Технологічна схема зневоднення і грануляції

#### 4.2. Розробка моделей окремих вузлів технологічної схеми

Для реалістичної симуляції процесу грануляції було розроблено 5 програмних модулів:

- Програма\_нагрівання\_повітря
- Програма\_ємність
- Апарат\_і\_циклон
- Верхня\_ємність
- Аларми

**Програмний модуль «Програма\_нагрівання\_повітря».** Даний програмний модуль написаний на мові функціональних блоків (FBD) і виконує розрахунок необхідної маси і температури повітря для правильної роботи гранулятора. Схема програми наведена на рисунку 4.5.

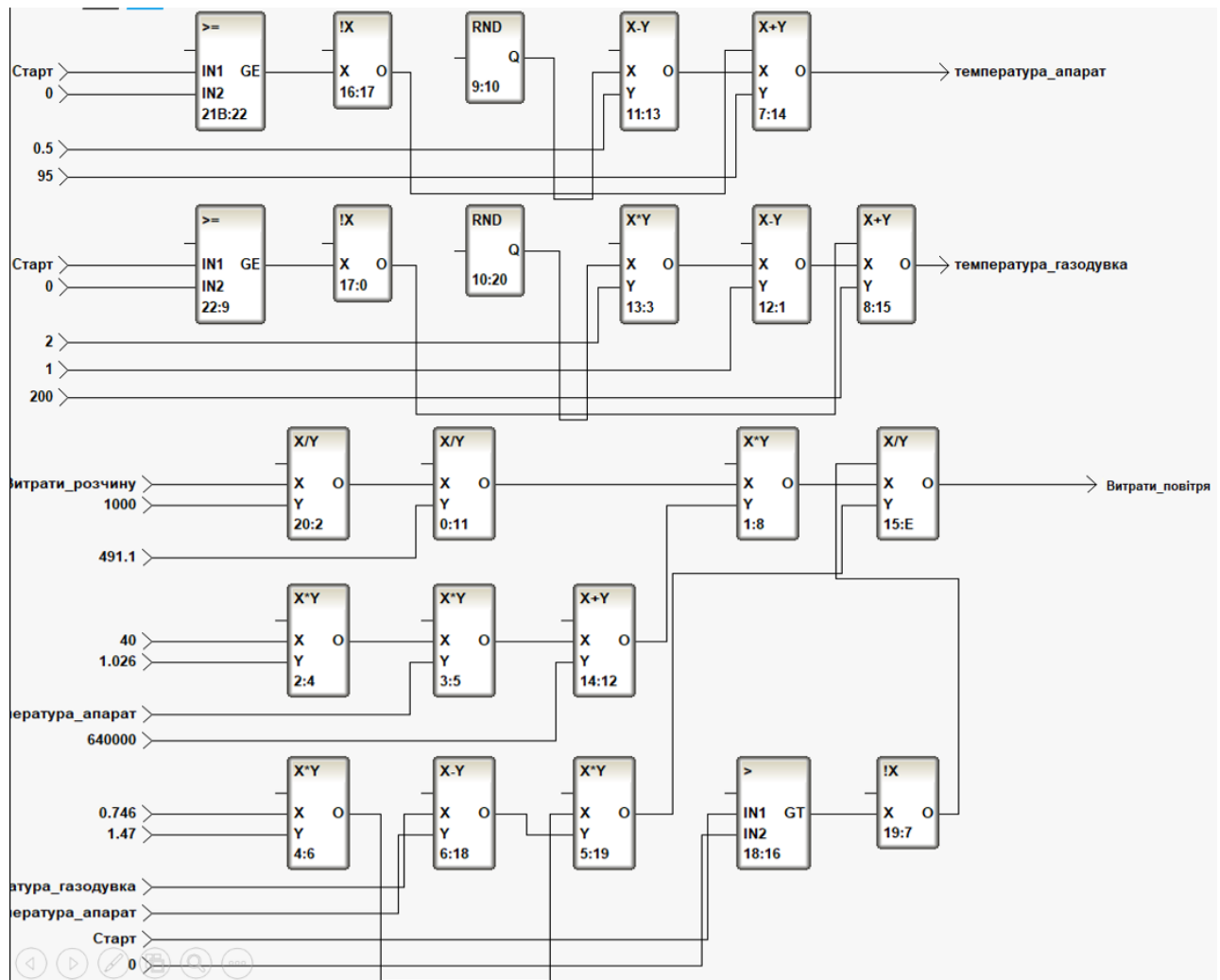


Рис. 4.5. Програма імітації підсистеми забезпечення гранулятора з псевдозрідженим шаром гарячим повітрям мовою FBD.

Така підсистема виконує дві задачі, а саме надходження для гранулятора псевдозрідженого шару кількості теплоти, достатньої для випаровування розчину та підсушування гранул та надходження кількості повітря, достатнього для підтримання режиму псевдозрідження. Технологічно ця підсистема реалізується за допомогою регульованої газодувки, яка дозволяє змінювати витрату повітря в достатньо широкому діапазоні, нагрівача, для нагрівання повітря та вентиля для пропускання ненагрітого повітря встановленого паралельно з нагрівачем.

У запропонованій імітаційній моделі блок 7:12 розраховує температуру в апараті псевдозрідженого шару. Для його роботи блоки 21B:22 і 16:17

містять відповідні температурні залежності, а блоки 9:20 і 11:13 накладають флуктуації на результат.

Блок 8:15 розраховує температуру повітря яке надходить до апарату. Для його роботи блоки 22:9, 17:0 містять відповідні температурні залежності а блоки 10:2, 13:3 і 12:1 накладають флуктуації на результат.

Блоки 18:16, 19:14 дозволяють здійснити розрахунок витрати теплоносія яке необхідне для забезпечення режиму псевдозрідження у грануляторі. Для цього розрахунку застосовується запозичена з [23] формула:

$$V_{\text{ТН}} = \frac{V_{\text{РОЗ}}(c \cdot C_{\text{ПР}} \cdot t_1 + 1000 \cdot 640)}{\rho \cdot C_{\text{ТН}} \cdot (t_2 - t_1)}, \quad (4.1)$$

де:  $V_{\text{ТН}}$  – необхідна кількість теплоносія (у нашому випадку гарячого повітря);  $V_{\text{РОЗ}}$  – об'єм розчину, який надходить в апарат на грануляцію(1,53 л/с);  $c$  – концентрація цього розчину(40% масових);  $C_{\text{ПР}}$  – теплоємність гранульованого продукту(1,026 кДж/кг\*К);  $\rho$  – густина теплоносія(0,746 кг/м<sup>3</sup>);  $C_{\text{ТН}}$  – теплоємність теплоносія(1,47 кДж/кг\*К);  $t_2$  – початкова температура теплоносія(визначається за тепловим балансом, формула (4.2)),  $t_1$  – температура у грануляторі(95 °С).

Тепловий баланс розрахуємо за умови що тепло, яке надходить в гранулятор з гарячим повітрям, витрачається на нагрівання розчину(від температури навколишнього середовища до температури кипіння) та випаровування води від 60% масових до 3,2% масових(залишкова вологість продукту 8%). Тобто:

$$\begin{aligned} C_{\text{ТН}} * (t_2 - 104,25) * V_{\text{ТН}} = \\ = C_{\text{РОЗ}}(104,25 - 25) * V_{\text{РОЗ}} + C_{\text{ВИП}}(0,6 - 0,032) * V_{\text{РОЗ}} \end{aligned} \quad (4.2)$$

де: 104,25 – температура кипіння розчину,  $C_{\text{РОЗ}}$ – теплоємність розчину(3870 кДж/кг\*К),  $C_{\text{ВИП}}$ - питома теплота випаровування води(2258 кДж/кг\*К).

очевидно що формули (4.1) і (4.2) утворюють систему алгебраїчних рівнянь з 2ма невідомими -  $V_{TH}$  і  $t_2$ .

Блоки наведеної імітаційної моделі реалізують розв'язок цієї системи рівнянь методом підстановки ( $V_{TH}$  підставляється з формули (4.1) у (4.2) після чого рівняння вирішується відносно  $t_2$  методом половинного ділення). цю процедуру реалізують блоки 2:4, 3:5, 14:7, 4:6, 6:18 і 5:19. Блоки 20:10 і 0:11 дозволяють привести фізичні величини, які входять у формулу, до єдиної розмірності. Розрахунок необхідної кількості теплоносія здійснює блок 15:E.

Аргументи програмного модулю наведені на рисунку 4.6.











Имя	Тип	Тип данных
Витрати_повітря	 OUT	 REAL
температура_газодувка	 IN/OUT	 REAL
температура_апарат	 IN/OUT	 REAL
Витрати_розчину	 IN	 REAL
Старт	 IN	 REAL

Рисунок 4.6 – Аргументи програмного модулю  
«Програма\_нагрівання\_повітря»

Реалізована модель дає змогу провести повноцінну імітацію роботи підсистеми, яка забезпечує задану витрату і температуру повітря, яке надходить у гранулятор з псевдозрідженим шаром. Розроблена модель дозволяє урахувати переважну більшість ситуацій, які можуть виникнути на реальному об'єкті.

**Програмний модуль «Програма\_ємність».** Даний програмний модуль написаний на мові функціональних блоків (FBD) і виконує розрахунок рівня робочої рідини в ємності перед гранулятором. Схема програми наведена на рисунку 4.7.

В даній моделі блок 0:E розраховує рівень рідини в ємності перед гранулятором. Для його роботи блоки 2:3 і 3:4 дозволяють привести фізичні

величини, які входять до розрахунку, до єдиної розмірності, а блоки 6B:2, 4:1, 7:5 і 5:0 накладають флуктуації на результат.

Аргументи програмного модулю наведені на рисунку 4.8.

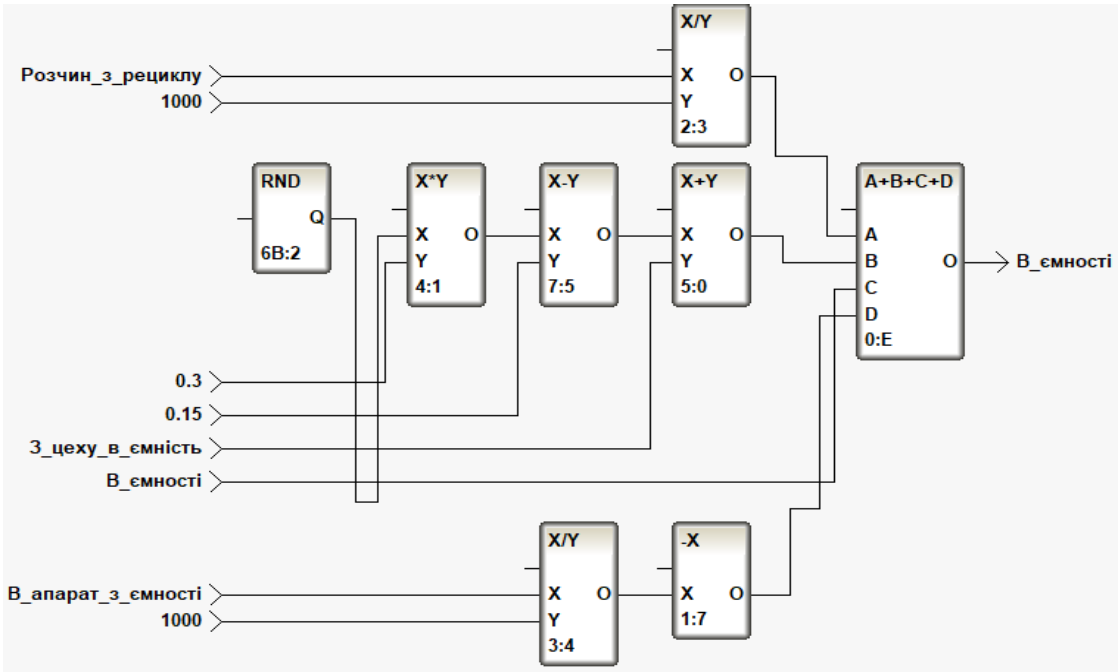


Рисунок 4.7 – Програма імітації визначення рівня в ємності перед гранулятором мовою FBD.

Програма реалізує розрахунок за матеріальним балансом. В ємність надходять речовини із вхідного потоку і потік розчиненого пилу із апарата з мішалкою, а виходить потік робочого розчину в гранулятор. Різниця цих потоків показує поточний рівень в ємності.

Имя	Тип	Тип данных
З_цеху_в_ємність	IN	REAL
В_апарат_з_ємності	IN/OUT	REAL
Розчин_з_рециклу	IN	REAL
В_ємності	IN/OUT	REAL

Рисунок 4.8 – Аргументи програмного модулю «Програма\_ємність»

Реалізована модель дає змогу провести повноцінну імітацію зміни рівня робочої рідини в ємності перед гранулятором.



**Програмний модуль «Апарат\_і\_циклон».** Даний програмний модуль написаний на мові функціональних блоків (FBD) і виконує розрахунок маси виходу готового продукту і пилу який іде на рецикл. Схема програми наведена на рисунку 4.9.

В даній моделі блоки 1В:5 і 0:6 розраховують значення маси сульфату амонію який знаходиться в грануляторі без врахування води. Блоки 2:3 і 3:Е розраховують масу готового грануляту без урахування його вологості. Для достовірної імітації процесу треба враховувати виліт пилу і часточок грануляту в циклон. Для цього використовуються блоки 5:9, 6:11, 7:8 і 8:2, які враховують виліт часток і пилу з гранулятора в розмірі 8-16% від маси готового продукту. Блок 4:0 формує значення маси пилу і часток які вилетіли з гранулятора. Блоки 9:10 і 11:12 розраховують вихід готового продукту з гранулятора, а блоки 10:4 і 12:7 розраховують вихід пилу і часточок грануляту із врахуванням 9% вологості.

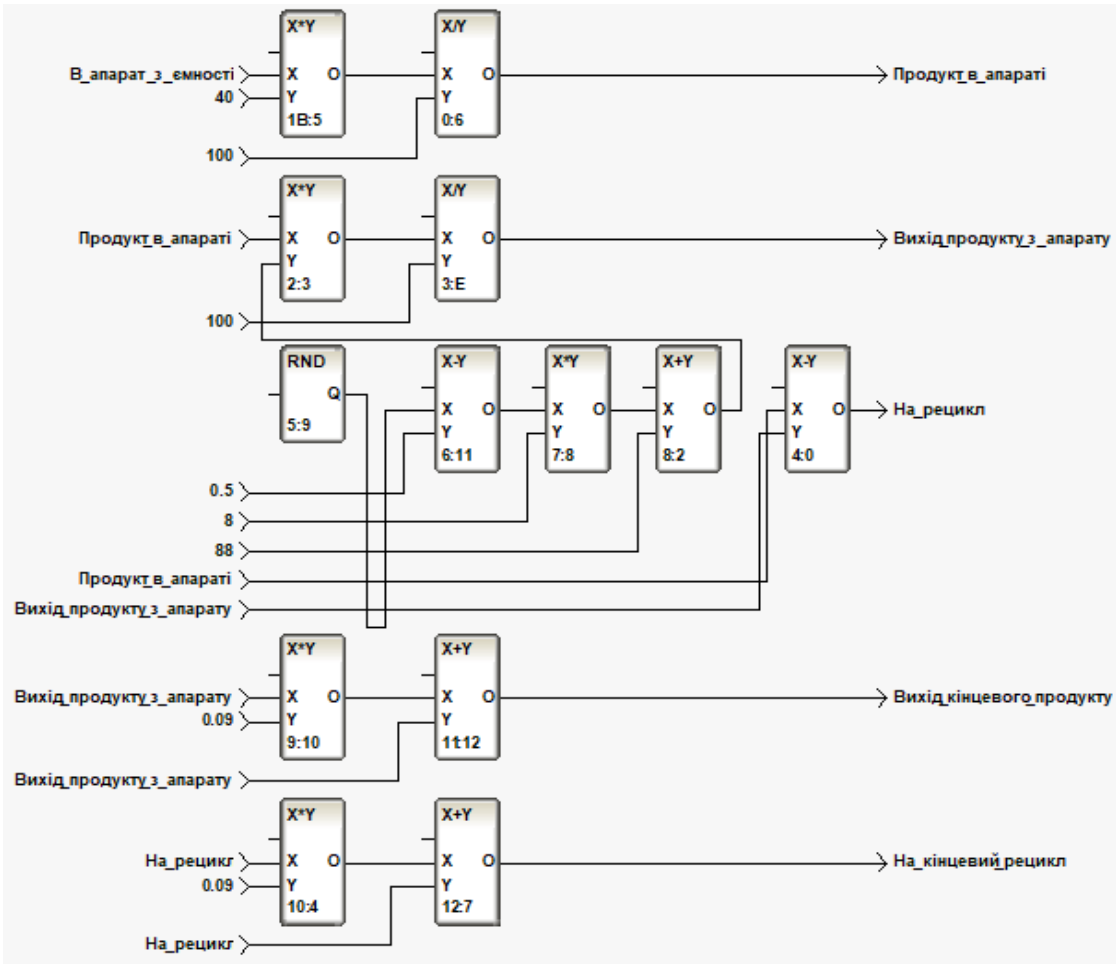


Рис. 4.9 Програма імітації визначення маси виходу готового продукту і пилу який іде на рецикл мовою FBD.

Аргументи програмного модулю наведені на рисунку 4.10.

Имя	Тип	Тип данных
В_апарат_з_ємності	IN	REAL
Продукт_в_апараті	IN/OUT	REAL
Вода	OUT	REAL
Вихід_продукту_з_апарату	IN/OUT	REAL
На_рецикл	IN/OUT	REAL
Вихід_кінцевого_продукту	OUT	REAL
На_кінцевий_рецикл	OUT	REAL

Рисунок 4.10 – Аргументи програмного модулю «Апарат\_і\_циклон»

Таким чином розроблена програма дозволяє провести імітацію процесу грануляції в апараті киплячого шару.

**Програмний модуль «Верхня\_ємність».** Оскільки, поруч з гранулами, частина розчину, який надходить в апарат з псевдозрідженим шаром, перетворюється на пил готового продукту, відносна частка якого може сягати 16%, необхідно передбачити відділення повітря, яке відходить з апарату з псевдозрідженим шаром від пилу готового продукту з наступним поверненням означеного пилу на повторне розчинення. Такий пил не лише призводить до втрат цінного компоненту, а і забруднює навколишнє середовище.

Під час розроблення автоматизованої системи управління процесом грануляції необхідне створення підсистеми для підтримання сталої концентрації розчину, який надходить в апарат на гранулювання. Задачею такої підсистеми є стабілізація концентрації розчину цільового продукту за умов:

- непередбачуваної зміни такої концентрації у розчині, який надходить на гранулювання у якості сировини;
- непередбачуваних змін кількості пилу, який повертається на повторне розчинення.

Імітація роботи такої підсистеми реалізовано мовою Functional Block Diagrams (FBD). Схема програми наведена на рисунку 4.11.

У реалізованій програмі блоки 0:12 і 1:2 являють собою вимірювальний прилад концентрації розчину, блоки 2:4 і 3:5 – ПІД регулятор, а блок 6:E – виконавчий механізм, який керує вентилем подачі води. Група блоків 4:3 і 5:6 використовуються для імітації похибки роботи виконавчого механізму. Блоки 13:0 і 14:1 забезпечують старт блоків імітації похибок. Всі інші блоки виконують задачу підготовки вхідних величин для роботи основних блоків 0:12, 1:2, 2:4, 3:5.

Блоки 7B:9 і 8:14 обчислюють масу води яка потрапляє у разом із пилом у вигляді вологи. Блок 9:10 визначає масу цільового продукту яка потрапляє у ємність з мішалкою без вологи. Блок 10:11 визначає маси води яку необхідно

долити для отримання робочого розчину із заданою концентрацією. Блок 11:13 здійснює розрахунок необхідної маси води з урахування вологості яка потрапляє у ємність разом із пилом цільового продукту.

Блок 0:12 використовується для визначення різниці між завданням і керуванням. Блок 1:2 необхідний для імітації зони нечутливості вимірювального приладу. Блок 2:4 формує вихідне значення керуючої величини за ПД законом регулювання по одержаному значенню неузгодженості, попередньо сформованої в блоці 0:12.

Блок 3:5 виконує експоненційне згладжування вихідного сигналу ПД регулятора. Блок 12:8 необхідний для визначення маси робочого розчину доведеного до заданої концентрації в ємності. Цей розчин буде виходити із ємності і потрапляти в бак з робочим розчином.

Аргументи програмного модулю наведені на рисунку 4.12.

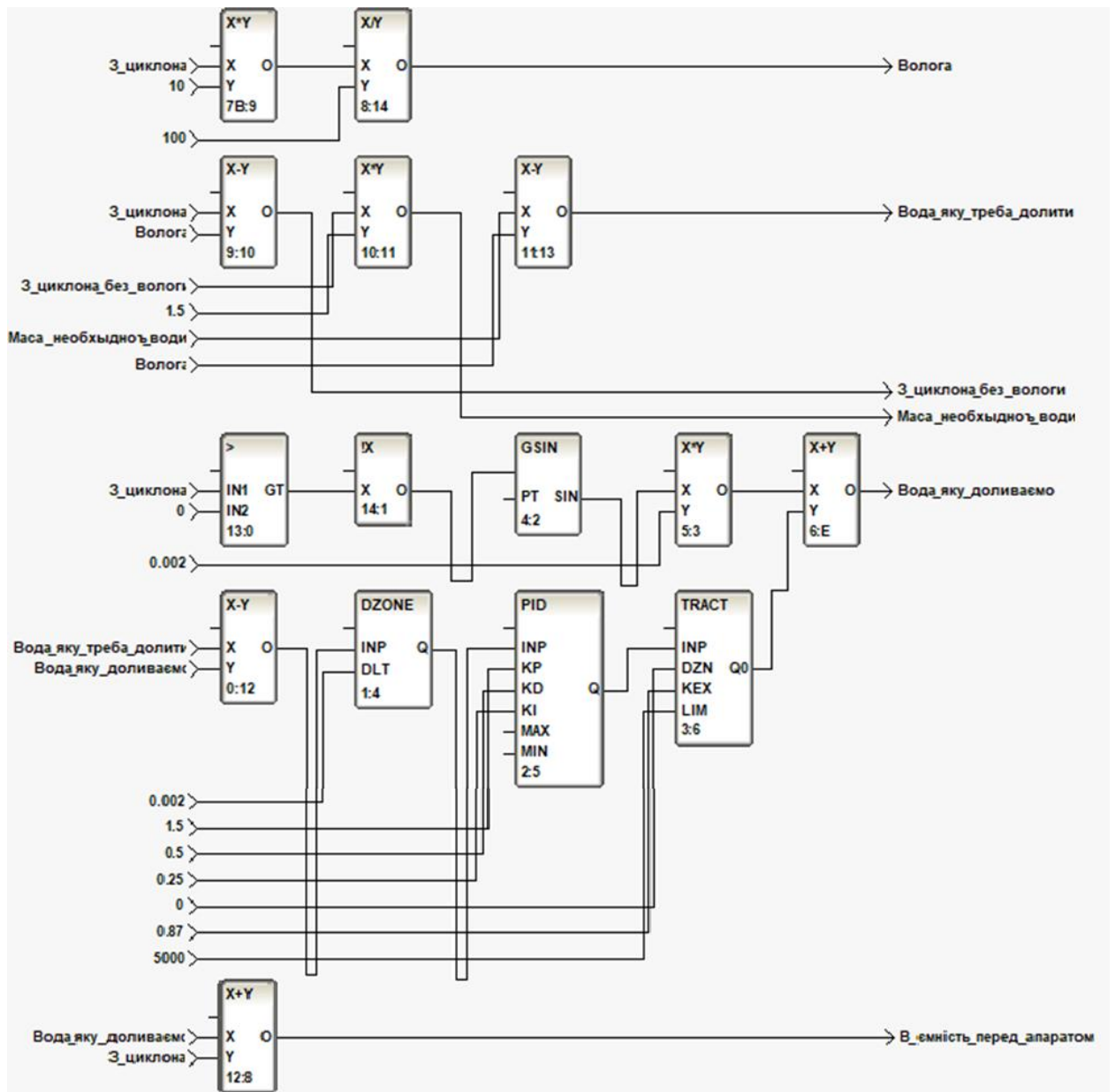


Рисунок 4.11 – Програма імітації роботи ємності для розчинення рециркульованого пилу мовою FBD.

Дана програма реалізує регулювання кількості води яку необхідно подати на розчинення пилу із використанням ПІД-регулятора. При цьому враховується, що частина води подається із вологим пилом. Регулятор отримує завдання підтримання концентрації 40%. Ця концентрація визначається кондуктоміром який має стандартний вихід 4-20 мА. В регуляторі використані тестові налаштування коефіцієнтів :  $K_P=1$ ,  $K_I=0,5$  і  $K_D=0,25$ . Регулятор видає регулюючий вплив на виконавчий механізм. Для імітації роботи кондуктоміра в програмі реалізовано наступний алгоритм :

$$C_{\Pi} = \frac{g_{\text{пл}}(1-0,09)+V_{\text{вх}}*0,4}{g_{\text{H}_2\text{O}}+V_{\text{вх}}*0,6}, \quad (4.3)$$

Де :  $C_{\Pi}$  – поточна концентрація розчину який знаходиться в ємності, 0,09 – вологість пилу  $g_{\text{пл}}$  – маса пилу яка приходить на розчинення згідно матеріального балансу,  $g_{\text{H}_2\text{O}}$  – маса води, яка додається для розчинення пилу,  $V_{\text{вх}}$  – об'єм робочого розчину який надходить на грануляцію.

Оскільки передбачається ,що кондуктомір видає стандартний сигнал, для його імітації використовується формула:

$$I = 4 + 16 * \frac{C_{\Pi}}{60-20}, \quad (4.4)$$

Де 60 і 20 це порогові значення концентрації розчину, які можуть бути утворені в різних режимах роботи системи .















Имя	Тип	Тип данных
З_циклона	 IN	 REAL
З_циклона_без_вологи	 IN/OUT	 REAL
Волога	 IN/OUT	 REAL
Маса_необхидноз_води	 IN/OUT	 REAL
Вода_яку_треба_долити	 IN/OUT	 REAL
Вода_яку_доливаемо	 IN/OUT	 REAL
В_ємність_перед_апаратом	 OUT	 REAL

Рисунок 4.12 – Аргументи програмного модулю «Верхня\_ємність»

Таким чином, реалізована модель дає змогу провести повноцінну імітацію роботи ємності по розчиненню рециркульованого пилу готового продукту з урахуванням переважної більшості ситуацій, які можуть виникнути на реальному об'єкті.

**Програмний модуль «Аларми».** Даний програмний модуль написаний на мові ST і виконує обробку критичних подій в ємності перед гранулятором. Код програми наведений на рисунку 4.14.

```

PROGRAM
VAR_INPUT Рівень_речовини : REAL; END_VAR
VAR_OUTPUT Сигнал : REAL; END_VAR
VAR_INPUT start : REAL; END_VAR

if start>0 then
//дозвіл старту програмного модуля
if Рівень_речовини >4 && Рівень_речовини < 16 Then
Сигнал = 0;
// показники в нормі
end_if;
if Рівень_речовини >16 && Рівень_речовини < 18 Then
Сигнал = 1;
//ємність переповнена
end_if;
if Рівень_речовини >18 && Рівень_речовини < 20 Then
Сигнал = 2;
//Загроза переповнення ємності
end_if;
if Рівень_речовини < 4 && Рівень_речовини > 2 Then
Сигнал = 3;
//Загроза спустошення ємності
end_if;
if Рівень_речовини < 2 && Рівень_речовини > 0 Then
Сигнал = 4;
//ємність порожня
end_if;
end_if;
END_PROGRAM

```

Рисунок 4.14 – Модуль реалізації спрацьовування алармів мовою ST.

Аргументи програмного модулю наведені на рисунку 4.13.







Имя	Тип	Тип данных
Рівень_речовини	 IN	 REAL
Сигнал	 OUT	 REAL
start	 IN	 REAL

Рисунок 4.13 – Аргументи програмного модулю «Аларми»

#### 4.3. Об'єднання та побудова узагальненої моделі технологічної системи

Після написання програмних модулів імітації процесів в середовищі Trace Mode 6, їх необхідно зв'язати між собою і здійснити прив'язку до каналів. На рисунку 4.3.1 наведений список каналів проекту.

Канали класу CALL реалізують можливість виклику функцій програмного середовища. Канал класу CALL «Цех:1» виконує виклик

робочого екрану під час запуску профайлера, канали класу CALL «Програма\_емність:2», «Апарат\_і\_циклон:3», «Верхня\_емність\_4», «Програма\_нагрівання\_повітря:5» і «Аларми:7» викликають відповідні їх назви програмно-імітаційні модулі. Аргументи каналу «Цех» і їх привязки, які передаються на екран профайлера вказані на рисунку 4.16.

Інші канали із списку – канали класу FLOAT використовуються для передачі даних між програмним модулями і між програмними модулями та робочим екраном профайлера.

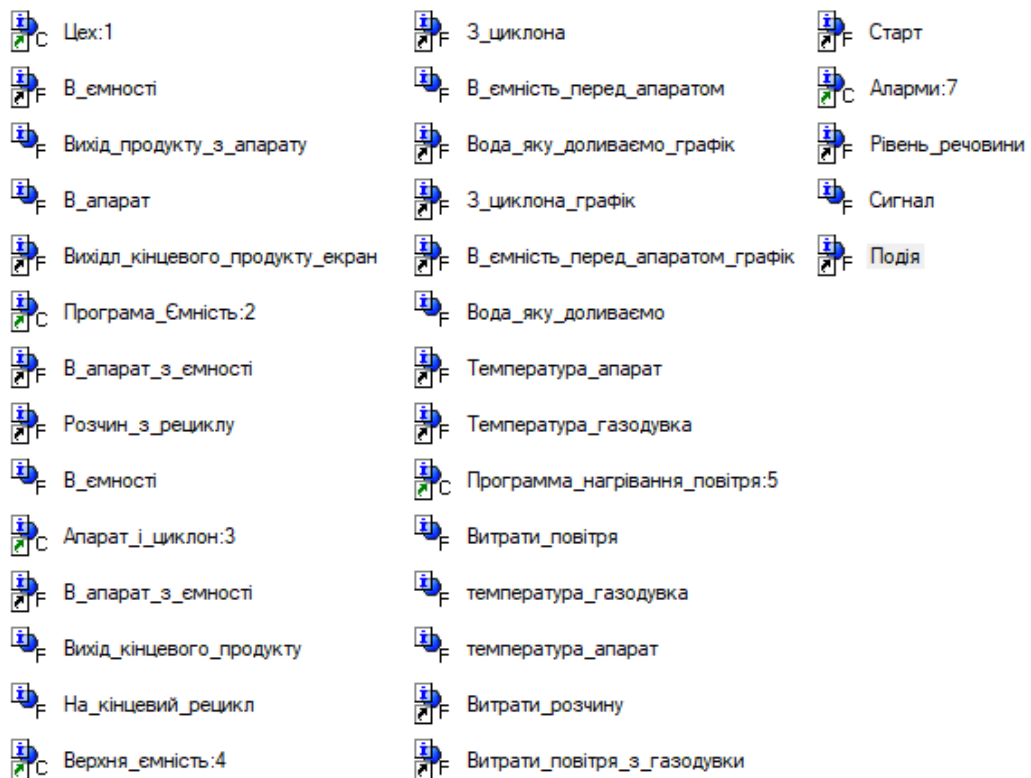


Рисунок 4.15 – Канали проекту

Имя	Тип	Тип данных	Значение по умолчанию	Привязка
Завдання	OUT	REAL		
В_емності	IN	REAL		В_емності:Реальное значение (Система.RTM_1.цех)
Вихід_продукту_з_апарату	IN	REAL		Вихід_продукту_з_апарату:Реальное значение (Система.RTM_1.цех)
В_апарат	IN	REAL		В_апарат:Реальное значение (Система.RTM_1.цех)
Вихід_кінцевого_продукту_екран	IN	REAL		Вихід_кінцевого_продукту_екран:Реальное значение (Система.RTM_1.цех)
Вода_яку_доливаємо_графік	IN	REAL		Вода_яку_доливаємо_графік:Реальное значение (Система.RTM_1.цех)
3_циклона_графік	IN	REAL		3_циклона_графік:Реальное значение (Система.RTM_1.цех)
В_емність_перед_апаратом_графік	IN	REAL		В_емність_перед_апаратом_графік:Реальное значение (Система.RTM_1.цех)
Температура_апарат	IN	REAL		Температура_апарат:Реальное значение (Система.RTM_1.цех)
Температура_газодувка	IN	REAL		Температура_газодувка:Реальное значение (Система.RTM_1.цех)
Витрати_повітря_з_газодувки	IN	REAL		Витрати_повітря_з_газодувки:Реальное значение (Система.RTM_1.цех)
Подія	IN	REAL		Подія:Реальное значение (Система.RTM_1.цех)

Рисунок 4.16 – Аргументи каналу «Цех»



Наприклад канал класу FLOAT «Вихід\_кінцевого\_продукту\_екран» до якого прив'язуються показники виходу кінцевого продукту на екрані профайлера в свою чергу прив'язаний до каналу класу FLOAT «Вихід\_кінцевого\_продукту», в якому зберігається аргумент «Вихід\_кінцевого\_продукту» програмного модуля «Апарат\_і\_циклон» що являє собою результат розрахунку виходу кінцевого продукту. А канал класу FLOAT «З\_циклона», що зберігає значення аргументу «З\_циклона» програмного модуля «Верхня\_ємність» прив'язаний до каналу класу FLOAT «На\_кінцевий\_рецикл», який, в свою чергу, зберігає значення аргументу «На\_кінцевий\_рецикл» програмного модуля «Апарат\_і\_циклон». Тобто за допомогою такої прив'язки каналів, значення аргументу «На\_кінцевий\_рецикл», яке являє собою розраховану масу пилу, яка вилітає з гранулятора, передається аргументу «З\_циклона» програмного модуля «Верхня\_ємність», що забезпечує таким чином передачу значень змінних між програмами в реальному часі.

#### 4.4. Результати імітації в середовищі Trace Mode 6

На робочому екрані середовища Trace Mode також відображаються графіки проходження процесів в апаратах. На рисунку 4.17 зображені графіки які демонструють процес роботи ємності з мішалкою, з якої готовий розчин подається в бак для робочого розчину перед гранулятором. На графіку є три криві:

- нижня крива показує масу пилу грануляту який надходить з циклона в бак з мішалкою;
- середня крива показує масу води, яка доливається для того щоб довести концентрацію розчину до 40% вмісту сульфату амонію;
- верхня крива показує скільки готового 40% розчину подається з баку з мішалкою в бак перед гранулятором.

На рисунку 4.18 зображені дві криві які показують температури: верхня крива показує температуру в трубопроводі перед гранулятором а нижня крива показує середню температуру в грануляторі.

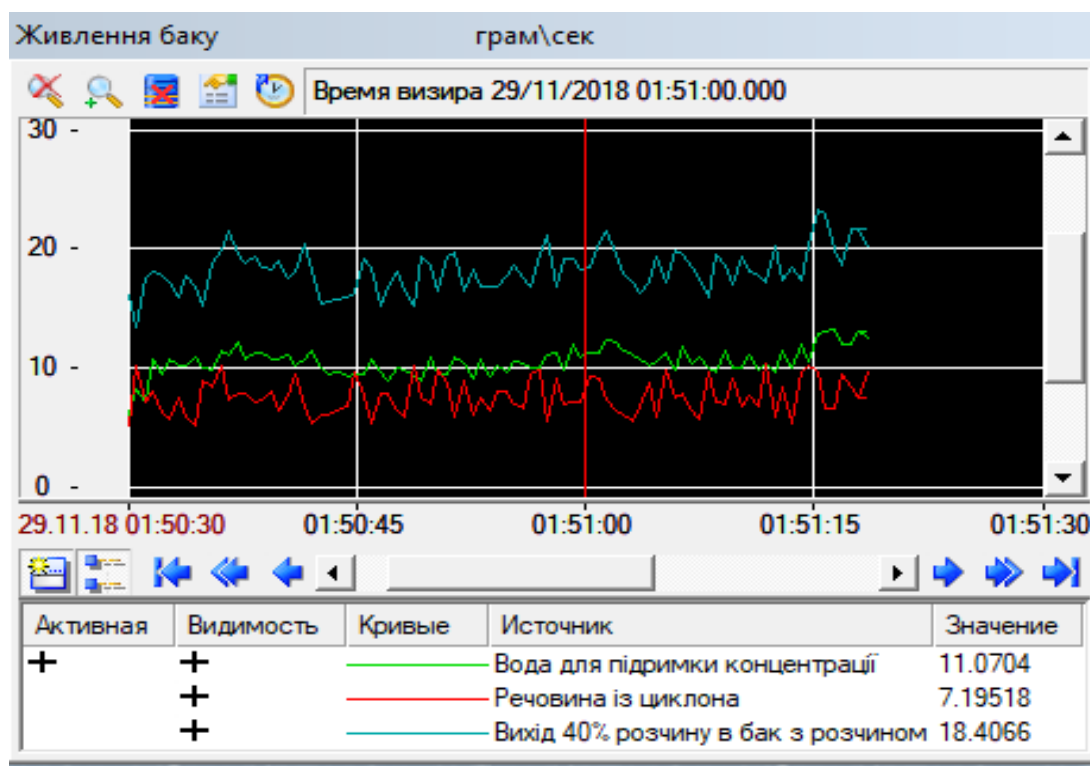


Рисунок 4.17 – Графік роботи баку з мішалкою.

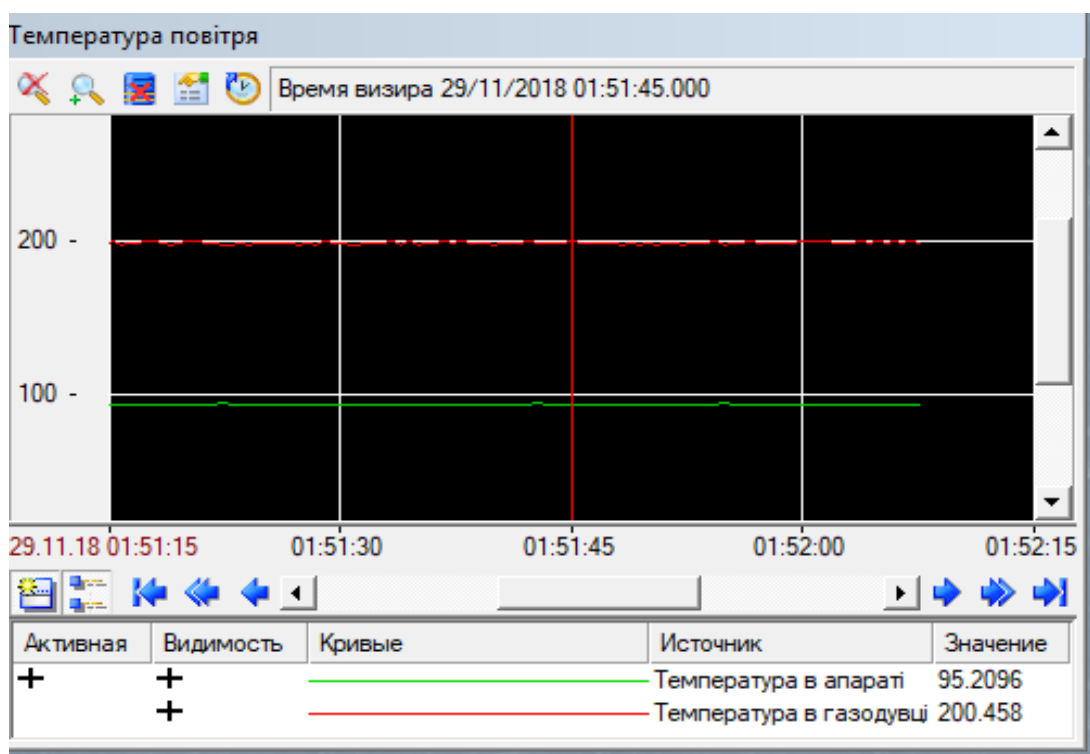


Рисунок 4.18 – Графіки температури повітря

На рисунку 4.4 зображений графік який характеризує витрату повітря для правильного живлення гранулятора.

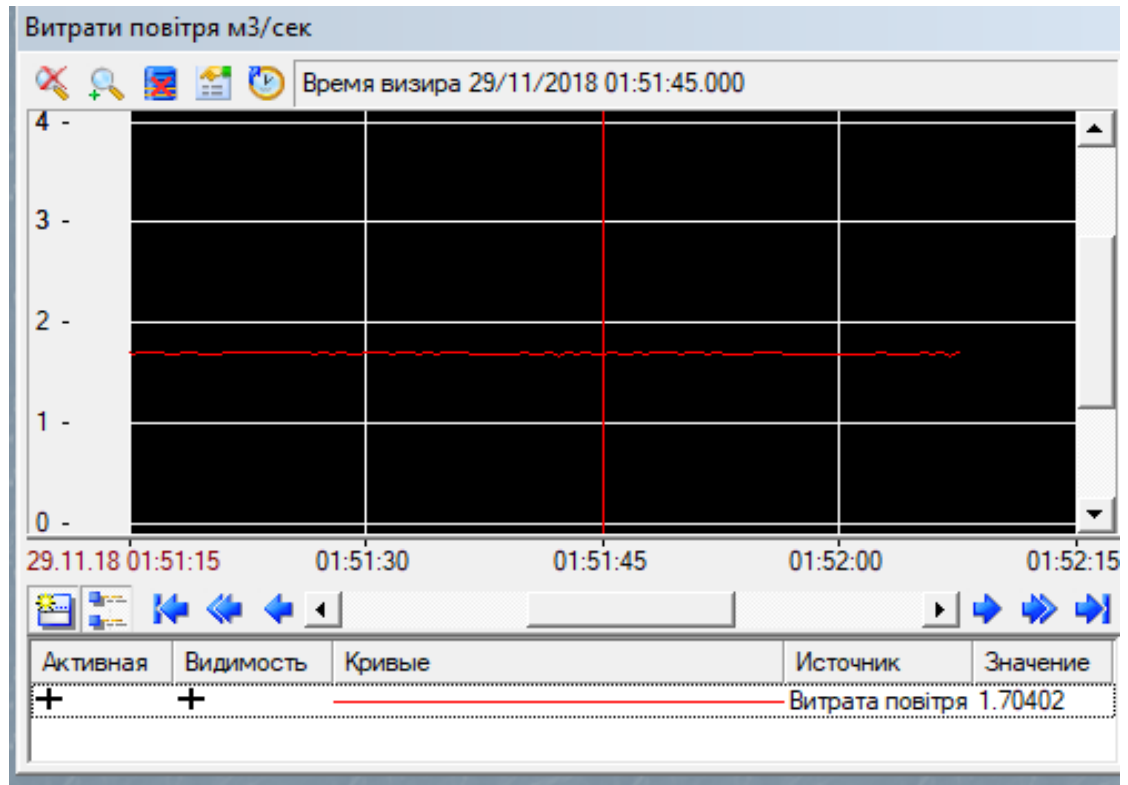


Рисунок 4.19 – Графік витрат повітря

#### 4.5. Підбір устаткування для реалізації схеми автоматизації

В ході розробки функціональної схеми автоматизації процесу зневоднення та грануляції, до складу якої входить 4 контури контролю і 5 контурів контролю та регулювання, запропоновано цифрове обладнання вітчизняної фірми Мікрол.

**В якості ПЛК** підібраний мікропроцесорний контроллер МІК-52Н.



Рисунок 4.20 – Контроллер МІК-52Н

Це – компактний малоканалний багатофункціональний високопродуктивний мікропроцесорний контролер який дає можливість автоматичного регулювання і логічного управління технологічними процесами. його характеристики слідує:

- 8 уніфікованих аналогових входів
- до 4 аналогових входів:
  - 0-5 мА ( $R_H \leq 2\text{кОм}$ );
  - 0 (4) -20 мА ( $R_H \leq 500\text{ Ом}$ );
  - 0-10 ( $R_H > 2\text{кОм}$ ).
- до 19 дискретних входів:
  - логічний "0" - 0-7В;
  - логічна "1" - 19-32В.
- до 21 дискретних виходів:
  - транзистор ОК: до 40В, 100мА;
  - реле: до 220, 5А;
  - твердотільне реле: до 40В, 0.5ААС / ADC
- інтерфейс/протокол - RS-485 / ModBus

**В якості блока живлення** обрано імпульсний блок БЖ-50-1к.



Рис.4.4.2 Блок живлення БЖ-50-1к

Даний блок живлення призначений для живлення стабілізованою напругою 24 В постійного струму різних приладів і промислового обладнання. Область застосування:

- живлення нормуючих перетворювачів і блоків перетворення сигналів, в тому числі блоків і перетворювачів виробництва підприємства МІКРОЛ
- живлення електронних схем і ланцюгів дискретних входів, імпульсних входів і дискретних виходів мікропроцесорних контролерів і регуляторів
- живлення контакторів, пускачів, механічних і твердотільних реле
- живлення електромагнітних клапанів.

**В якості блока перетворювачів інтерфейсу було обрано БПІ-52.**



Рисунок 4.22 – Перетворювач інтерфейсу БПІ-52

Даний перетворювач призначений для організації обміну інформацією по одному каналу послідовної зв'язку в системах де потрібне підключення пристрою (мережі пристроїв) з інтерфейсами RS-485, RS-422, RS-232C до інтерфейсу USB з гальванічною розв'язкою.

**Область застосування:**

- територіально розподілені і локальні системи управління
- віддалений збір даних, диспетчерський контроль, управління виробництвом
- рішення задач автоматизації, пов'язаних з передачею даних
- інтегрування багаторівневих інформаційних систем
- інтерфейс зв'язку з вимірювальними приладами, терміналами

### Технічні характеристики:

- кількість каналів перетворення: 1;
- гальванічна ізоляція: трирівнева (по входу, виходу, живленню);
- напруга ізоляції: 1000 В;
- світлодіодні індикатори: живлення, прийому і передачі даних (для полегшення пошуку несправностей).

В якості модулів вводу виводу було обрано модулі фірми МІКРОЛ. Всі вони виконані як самостійні вироби, інформаційний обмін з якими здійснюється по інтерфейсу RS-485, протокол MODBUS RTU. Модулі призначений для побудови розподілених систем контролю і управління технологічними об'єктами. У даних модулях використовується інтелектуальна система введення і виведення, де кожен модуль має вбудований мікропроцесор, що виконує свої завдання і функції по обробці сигналів незалежно від блоку центрального процесора контролера або комп'ютера.

Для обробки дискретних сигналів обрано модуль дискретного введення 8 каналів і виведення 8 каналів RIO-DIO16.



Рисунок 4.23 – Модуль RIO-Dio16

Модуль дискретного введення і виведення RIO-DIO16 призначений для перетворення в цифрову форму сигналів дискретних датчиків і формування

дискретних сигналів по командам керуючого комп'ютера (контролера).

Характеристики модуля:

- 8 дискретних входів:
  - активні дискретні сигнали 24В / 10мА;
  - пасивні дискретні сигнали;
  - лічильники по кожному входу з частотою до 5 Гц
- 8 дискретних виходів:
  - 3 транзисторних виходи (40 В / 100 мА);
  - 5 релейних виходів (перемикається контакт 220В / 5А).

В якості модуля аналогового входу обрано 8 каналний RIO-AI8.

**Модуль аналогового введення RIO-AI8** призначений для прийому і перетворення в цифрову форму уніфікованих сигналів. Він має 8 аналогових входів: 0-5 мА ( $R_{вх} = 400 \text{ Ом}$ ); 0-20 мА ( $R_{вх} = 100 \text{ Ом}$ ); 4-20 мА ( $R_{вх} = 100 \text{ Ом}$ ); 0-10 В ( $R_{вх} = 25 \text{ кОм}$ );

В якості модуля аналогового виходу обрано 4 каналний RIO-AO4.

**Модуль аналогового виведення RIO-AO4** призначений для формування аналогових сигналів по командам керуючого комп'ютера (контролера). Він має 4 аналогових виходи: 0-5 мА ( $R_n \leq 2000 \text{ Ом}$ );- 0-20 мА ( $R_n \leq 500 \text{ Ом}$ );- 4-20 мА ( $R_n \leq 500 \text{ Ом}$ ); 0-10 В ( $R_n \geq 2 \text{ кОм}$ ).

В ході розробки функціональної схеми автоматизації, побудови розподіленої системи автоматизації тапідбору цифрового приладдя, було визначено 2 варіанти реалізації автоматизації системи:

1. Реалізація системи автоматизації з використанням ПЛК і блока живлення для ПЛК. Це можливо, оскільки стандартних каналів вводу-виводу контроллера достатньо для роботи із всіма приладами і датчиками.

Така схема більш звична і використовується в багатьох випадках.

2. Реалізація системи автоматизації з використанням ПК, блоків дискретного та аналогового вводу-виводу сигналів і блока живлення. Така реалізація можлива при використанні ПК із SCADA системою

Trace Mode 6 в ролі ПЛК. За допомогою інвертора інтерфейсів, ПК підключається до блоків вводу-виводу, які комутуються із приладами і датчиками, і керує всім процесом в режимі реального часу.

Така система коштує дешевше ніж аналогічна система на ПЛК, оскільки дорогий контролер замінюється на дешевий ПК. Це можливо завдяки низьким системним вимогам середовища Trace Mode 6 до комплектуючих компютера.

#### **4.6. Підбір датчиків, виконавчих механізмів та регулюючих органів**

В якості концентратоміру обрано кондуктометричний промисловий стаціонарний програмований солемір КС-1М02



Рисунок 4.24 – Кондуктомір КС-1М02

Програмований стаціонарний промисловий кондуктометричний солемір КС-1М-2 призначається для перетворення питомої електропровідності конденсату, технічної води та розчинів кислот і лугів в електричні сигнали постійного струму пропорційного питомої електричної провідності наведеної до встановленої температури або концентрації



бінарного розчину і індикації результатів перетворень на цифровому індикаторі.

В якості витратоміру для повітря обрано ультразвуковий витратомір «Вимпел-50». Це компактний ультразвуковий вимірювальний комплекс, призначений для вимірювання витрати та об'єму газу, який не потребує прямих ділянок на вході і виході первинного перетворювача.



Рисунок 4.25 – Витратомір Вимпел-50

Регулятор потоку має розширений динамічний діапазон вимірюваних витрат 500: 1. Розмір монтажної ділянки складає 3DN (DN - номінальний діаметр трубопроводу), що дозволяє монтувати витратомір замість турбінних і ротаційних лічильників без перепроєктування вузла виміру.

Час безперервної роботи приладу від вбудованого автономного джерела живлення - 4 роки. Регулятор потоку має два вимірювальних канали та високу стабільність вимірювань - менше 0,1% в робочому діапазоні витрат.

Регулятор потоку застосовується на об'єктах газової та теплоенергетичної промисловості (ТЕЦ, котельні) та житлово-комунального господарства.

В якості витратоміру для води обрано BRV 04654DN15P-12 1", з діапазоном вимірювання 2-12 л/хв, а для робочої рідини яка потрапляє в цех обрано BRV 04654DN15P-28 1", з діапазоном вимірювання 8-28 л/хв.

Для вимірювання температури в грануляторі обрано 3 термометри опору ТСМ-100, а для вимірювання температури в газопроводі живлення гранулятора – один термометр опору ТСП-100.

Для регулювання температури повітря, яке живить гранулятор, та для регулювання витрати робочої речовини, використовуються регулюючі клапани 25ч940нж ЕСПА НО Ду 50. Для регулювання витрати води в ємності з мішалкою обрано регулюючий клапан 25ч940нж ЕСПА НО Ду 25.

#### **Висновок до розділу 4**

Таким чином, за результатом даного розділу визначені дві основні задачі дослідження.

Побудована розподілена система керування процесом у системі SCADA Trace Mode. Розроблена система містить візуальну модель для робочого місця оператора та 5 основних моделей реалізованих мовою програмування мікроконтролерів. Розроблена система здійснює як керування з використанням регуляторів (контур керування концентрацією робочого розчину), так і програмне керування на основі лінійних балансових моделей. Конутри керування витратою та температурою теплоносія, витратою розчину. За результатами імітаційного моделювання показано адекватність розроблених моделей і висока ступінь імітації реального об'єкту.

В другій частині проведено підбір технічних засобів автоматизації, які дозволяють реалізувати розроблену розподілену систему керування. Підібрано набір датчиків та виконавчих механізмів, а також два варіанти засобів реалізації системи мікропроцесорного керування: з використанням ПЛК МІК-52Н, та з використанням ПК зі SCADA системою. Результати цього розділу опубліковані в роботах автора [24,25]

## 5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

### 5.1 Резюме: конкретизація бізнес-ідеї, мети стартапу, об'єкту дослідження, місця розробки у інноваційному ланцюжку цінності

Бізнес-ідея: надання послуг з малої автоматизації для підприємств і виробництв.

Метою стартапу є надання послуг по проектуванню та монтажу малих автоматизованих систем для підприємств і виробництв різних масштабів.

Тема: малі автоматизовані системи.

Назва: надання послуг з малої автоматизації.

Суб'єкт замовлення: власники виробництв які потребують автоматизації.

Об'єкт дослідження: розробка малих автоматизованих систем для автоматизації виробництв, можливість їх застосування на підприємствах різних типів, економічна доцільність застосування малої автоматизації.

Місце розробки у інноваційному ланцюжку цінностей: B2B модель. Оскільки виробництво спрямовано на покращення умов виробництва кінцевого продукту, а отже для роботи з проміжними клієнтами.

Таблиця 5.1. Плановий обсяг послуг по місяцям на перший рік

	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	Липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
Запланований обсяг, шт	4	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Послуга – мала автоматизація систем виробництва.

Технологія нестандартна тим, що для автоматизації виробництва використовується SCADA системи на базі ПК без використання контролерів, що значно здешевлює затрати на комплектуючі зі сторони клієнта. Також, за

бажанням клієнта можлива включення в роботу контроллера за попередньою домовленістю із підприємством яке надає послуги.

Джерела комплектуючих. Для впровадження малої автоматизації узгоджується ТЗ із клієнтом і формується список необхідних комплектуючих які необхідно встановити на підприємстві.

Кваліфікація персоналу. Інженер проектувальник та начальник бригади мають вищу освіту за напрямком «автоматизація та компютерно-інтегровані технології». Монтажники і механіки мають вищу технічну освіту. Бухгалтер має вищу освіту економічного напрямку.

Споживачами є власники підприємств і виробництв яким необхідна автоматизація.

Ринок збуту. В даний час існує багато неавтоматизованих підприємств. Наприклад на території України і країн колишнього радянського союзу є багато старих котелень які досі опалюють будинки, школи, лікарні. Автоматизація таких об'єктів покращує їх роботу, зменшує витрати на їх обслуговування, витрати на паливо і зменшує викиди в атмосферу. Малу автоматизацію можна використовувати при розширенні великих виробництв. Наприклад при виробництві капролактаму утворюється побічна сировина - сульфат амонію. Її можна транспортувати на переробку в інше підприємство, або добудувати цех по виробництву гранульованого сульфату амонію і автоматизувати його із найменшими витратами, в результаті чого прибуток на виробництві збільшиться. Також є багато невеликих підприємств які працюють по застарілих технологіях і автоматизація їх виробництва позитивно скасується на їхніх техніко-економічних показниках. За допомогою автоматизації неавтоматизованих виробництв можна збільшити продуктивність виробництва.

Конкурентні переваги. Основні тенденції на ринку надання послуг автоматизації полягають в створенні автоматизованих систем для великих підприємств і виробництв, в той час як невеликі підприємства не можуть дозволити собі послуги провідних компаній по автоматизації. Наша компанія

надає послуги малої автоматизації за набагато доступнішою ціною ніж конкуренти, оскільки замість дорогих фірмових контролерів використовуються SCADA системи автоматизації в середовищі Trace Mode. Низькі системні вимоги середовища дозволяють використовувати дешеві ПК початкового рівня замість набагато дорожчих фірмових контролерів, функціонал яких надмірний для малої автоматизації. Це дозволяє економити до 50% коштів в порівнянні з використанням фірмових контролерів на дуже малих виробництвах. Також для автоматизації середніх за величиною виробництв можливе встановлення і налаштування дешевих контролерів масового ринку за попередньою згодою сторін.

Вартість розробки. Вартість розробки кожного проекту обговорюється індивідуально із замовником і залежить від складності проекту і часу затраченого на його впровадження.

Ринкова ціна складатиме близько 25 тис. грн/послугу.

Період повернення капіталовкладень – 1,2 роки.

## 5.2 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища старт-апу

Таблиця 5.2. Загрози і можливості зовнішнього середовища

Фактор	Загрози	Можливості
Економіка		
Нестабільність доходів	На початковому етапі, поки підприємство не набуло поширення, прибуток може бути не стабільним, що може призвести до затримки заробітних плат.	Для усунення фінансових проблем ми залучили інвесторів. По контракту, на початковому етапі, вони забезпечують нам підтримку. Тому нестабільність буде усунена.
Економічна криза	Після політичних подій, які мали місце в історії України кілька років тому, які спричинили економічну кризу, різку девальвацію гривні та невизначеність економічної ситуації в країні, розвивати підприємство стає досить складно.	Об'єктивно оцінюючи даний фактор, ми і залучили інвесторів з іншої країни.
Політика		

Державні реформи	Бізнесу часто обіцяють сприяння та допомогу від держави. Та насправді при прийнятті політичних рішень потреби українських підприємців часто ігноруються.	Щоб пом'якшити збитки та запобігти банкрутства було створено фонду розвитку виробництва. Так у нас буде резервний запас коштів за рахунок яких ми будемо вирішувати проблему.
Науково-технічний прогрес		
Поява нових технологій	Наука не стоїть на місці, кожного дня розробляють нові технології. Є можливість появи більш ефективного методу.	До того часу, як у нас з'явиться вагомий конкурент, ми вже досить міцно закріпимося на ринку та набудемо базу постійних клієнтів.
Географія		
Потенційна клієнтська база	З кожним роком клієнтська база буде розширюватись і з часом може охопити всю країну. Попит може перевищити пропозицію і клієнти почнуть звертатись за послугами до конкурентів.	Наша компанія буде розширятись і з часом відкриє нові офіси по всій країні. Це забезпечить надання швидких і якісних послуг по всій території країни.

Таблиця 5.3. Аналіз факторів зовнішнього оперативного середовища

Фактор	Переваги	Недоліки
Постачальники		
Вузьке коло постачальників	Аналіз ринку показує, що є альтернативні варіанти придбання комплектуючих. У разі виникнення проблем з постачальниками ми зможемо знайти заміну.	Надто вузьке коло постачальників, що може в ряді випадків утворювати небажану залежність бізнесу.
Конкуренти		
Конкурентна спроможність на ринку	Дешевизна і якість наших послуг в сфері малої автоматизації витіснить конкурентів із цієї долі ринку.	Наші послуги не можуть конкурувати в сфері великої автоматизації
Клієнти		
Консервативність клієнтів	Ефективність нашого методу дозволить швидко запевнити клієнтів в доцільності співробітництва з нами. Розпочавши, ми зможемо продемонструвати, що наші	Не довіра споживачів до нових компаній, надання переваги відомим крмпаніям на ринку або робота на не автоматизованому обладнанні.

	послуги не тільки можна, але й потрібно використовувати.	
--	--	--

Таблиця 5.4. Переваги і недоліки внутрішнього середовища

Фактор	Переваги	Недоліки
Надання послуг	Можливість розширення штату і як наслідок кількості наданих послуг. Високий рівень якості послуг. Можливість модифікації.	На розробку і впровадження проекту необхідний певний час.
Для кожного замовника необхідно окремо підбирати додаткове обладнання в залежності від виробництва.	Ми забезпечуємо високу якість та ефективність продукції для кожного замовника.	У випадку, якщо додаткове обладнання підбрано не точно, то ефективність може знизитись, або навпаки, можна зашкодити роботі підприємства.
Монтажники і механіки мають схожі обов'язки	Монтажники і механіки в більшості випадків можуть замінити один одного у випадку хвороби або відпустки.	Деякі обов'язки монтажників не можуть бути виконані механіками і навпаки
Інженер проектувальник узгоджує ТЗ із замовником	Проект можна підготувати набагато точніше і якісніше, оскільки замовник напряду взаємодіє із проектувальником.	Робота з клієнтами може заважати роботі над іншими проектами автоматизації.

### 5.3 Ключові фактори успіху проекту за методом Шонфільда.

На підставі аналізу факторів внутрішнього і зовнішнього оперативного середовищ було визначено ключові фактори успіху надання послуг. Під ключовими факторами успіху розглянемо ті, на які компанія може самостійно впливати під час надання послуг. Ключові фактори успіху надано у вигляді діаграми Шонфільда.

Таблиця 5.5. Оцінки характеристики за методом Шонфільда

Характеристика	Коефіцієнт вагомості	Оцінка характеристик		
		Наша продукція	Конкурент А	Конкурент Б
			(поширений)	(універсальний)
Ефективність	0,5	5	5	3
Ціна	0,5	5	4	3
Трудомісткість	0,2	3	2	3

Термін виконання	0,5	5	3	4
Практичність	0,2	4	4	2

З урахуванням коефіцієнту вагомості характеристики визначається бальна оцінка кожної характеристики для нашої продукції і для конкурентів, яку приведено у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6. Оцінки характеристики з урахуванням коефіцієнту вагомості

Характеристика	Наша продукція	Конкурент А	Конкурент Б
Ефективність	2,5	2,5	1,5
Ціна	2,5	2	1,5
Трудомісткість	0,6	0,4	0,6
Термін виконання	2,5	1,5	2
Практичність	0,8	0,8	0,4

На підставі отриманих бальних оцінок будується графік порівняння конкурентних переваг нашого підприємства з конкурентами.

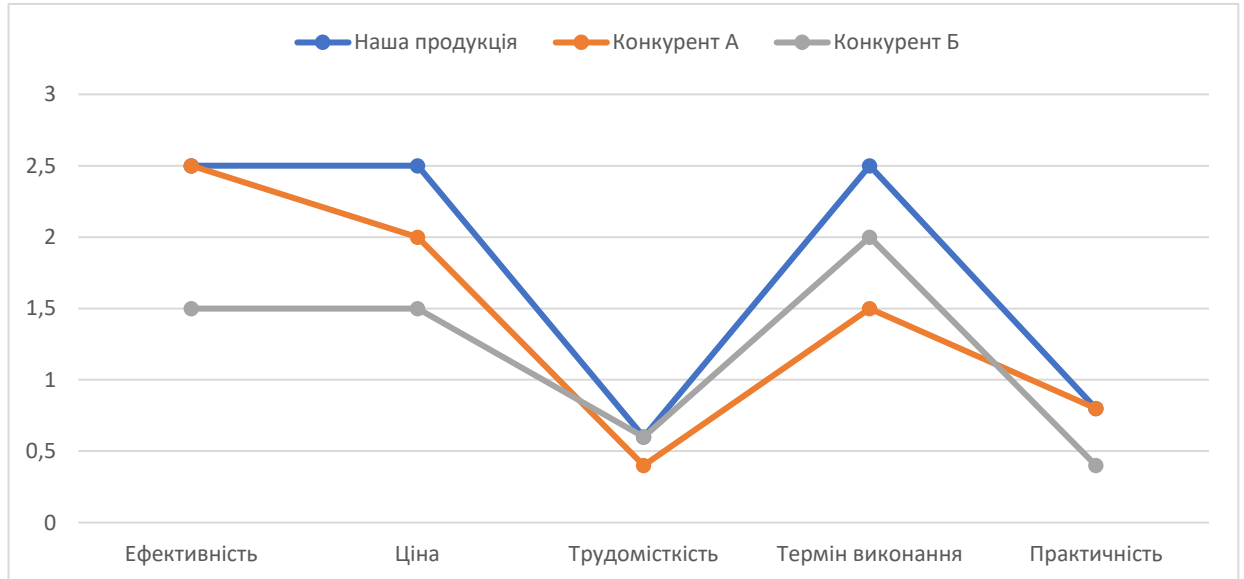


Рисунок 5.1 – Порівняння конкурентних переваг підприємства з конкурентами

Таким чином, бачимо, що наші послуги мають вищі оцінки ніж у конкурентів. Паритет з конкурентом А є тільки в оцінках ефективності та практичності, а з конкурентом Б тільки по трудомісткості. Саме через те, що наші послуги покривають сферу малої автоматизації, а конкуренти не



пристосовані до обслуговування цієї долі ринку - наша компанія має кращі показники по всіх параметрах.

#### 5.4 Розрахунок основних техніко-економічних показників проекту

Для розвитку даного старт-ап проекту було використано декілька джерел фінансування – власні та запозичені кошти. До власних коштів відносимо:

- заощадження, одержані від попередньої діяльності;
- формування на підприємстві фонду розвитку виробництва, науки і техніки шляхом відрахувань чітко обумовленого відсотку з доходу або прибутку підприємства протягом всього періоду функціонування.

А до запозичених коштів:

- іноземні інвестиції, а саме інвесторів з Європи. Так як, у Європі гостро стоїть питання малої автоматизації, інвестори зацікавлені в розвитку малої автоматизації.

На підприємстві обов'язковими працівниками, які необхідні для виконання відповідного обсягу робіт і повної комплектації робочих місць протягом зміни, є: начальник бригади, механік, монтажник та інженер проектувальник.

Таблиця 5.7. Персонал підприємство

Посада	Кількість штатних одиниць, осіб	Зарплата на 1 прац., грн	Зарплата, грн
Інженер проектувальник	1	12000	12000
Монтажник	2	10000	20000
Механік	2	9000	18000
Начальник бригади	1	12000	12000
Бухгалтер	1	7500	7500
Прибиральниця	1	5500	5500

Сума		56000	74000
------	--	-------	-------

Розрахуємо фонд оплати праці:

$$\text{ФОП} = 12 \cdot 3П = 12 \cdot 74\,000 \cdot 1,22 = 888\,000 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

Відрахування на соціальні заходи здійснюються за встановленим законодавством ставками від витрат на оплату праці і складає 22%.

Очікується, що підприємство буде виконувати 69 замовлень в рік.

Витрати на електроенергію. Розрахуємо витрати на електроенергію за нерегульованим тарифом, тариф за приєднану потужність:  $T_{\text{пр}} = 2.5 \text{ грн/кВт}$ ; Потужність обладнання:  $H_{\text{об}} = 6 \text{ кВт/добу}$ ; Освітлення цілодобове:  $H_{\text{ос}} = 1 \text{ кВт/добу}$ .

Підприємство працює 8 годин на добу, 250 днів на рік. Річні витрати на електроенергію:

$$\begin{aligned} Z_{e/e} &= P_{\text{пр}} \cdot T_{\text{пр}} + T_{\text{нерег}} \cdot (H_{\text{об}} \cdot 734,864 + H_{\text{ос}} \cdot 250) = \\ &= 2000 \cdot 2.5 + 1 \cdot (6 \cdot 734,864 + 1 \cdot 250) = 7\,234,867 \frac{\text{грн}}{\text{рік}} \end{aligned}$$

Витрати на опалення приміщення. Загальна площа:  $100 \text{ м}^2$ ; тарифна ставка на опалення:  $33 \text{ грн./м}^2 \text{ міс}$ ; Сезон опалення: 6 місяців.

$$Z_{\text{опал.}} = 100 \cdot 33 \cdot 6 = 19\,800 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

Амортизаційні відрахування. Здійснюються за прийнятими методами і нормами.

Таблиця 5.8. Розрахунок вартості ОЗ підприємства з надання послуг малої автоматизації

Найменування	Кількість одиниць	Вартість, грн.	Норма амортизації за рік, %
--------------	----------------------	-------------------	--------------------------------

Офіс (будівля)	1	360 000	10
ПК	3	45 000	20
Сертифікат		250 000	30
Транспорт (для виїзду на монтаж і обслуговування)	1	65 000	20
Виробничий інвентар		20 000	25
Офісний інвентар		30 000	25

Сумарна вартість основних фондів:

$$\text{ОФ} = 360\,000 + 30\,000 + 250\,000 + 65\,000 + 20\,000 + 30\,000 = 755\,000 \text{ грн./рік}$$

Розраховуємо величину амортизаційних відрахувань:

$$A = 360\,000 \cdot 0,1 + (45\,000 + 65\,000) \cdot 0,2 + 250\,000 \cdot 0,3 + (20\,000 + 30\,000) \cdot 0,25 = 145\,500 \text{ грн.}$$

Сумарні офісні витрати наведено у таблиці 5.9.

Таблиця 5.9. Сумарні затрати підприємства

Статті затрат	Затрати на річний випуск, грн./рік
Електроенергія	7 234,867
Опалення	19 800
Фонд оплати праці	888 000
Амортизація	145 500
Всього (собівартість)	1 060 534,867

Розрахунок ціни за основними методами ціноутворення:

1. Метод, орієнтований на витрати (витратний метод):

$$\begin{aligned} \text{Ц} &= \frac{C}{69} + C \cdot 1\% = \frac{1\,060\,534,867}{69} + 138\,031\,572 \cdot 0,01 = \\ &= 15\,370,070 + 10\,605,348 = 25\,975,418 \text{ грн./шт} \end{aligned}$$

2. Параметричний метод – враховує вагомість якісних параметрів послуг і оцінку цих параметрів споживачем:

$$\begin{aligned} C_{\text{нovoї моделі}} &= C_{\text{базової моделі}} \cdot \frac{\text{Балова оцінка нової моделі}}{\text{Балова оцінка базової моделі}} = \\ &= 20\,000 \cdot \frac{8,9}{7,2} = 24\,722,2 \text{ грн/шт} \end{aligned}$$

3. Метод ціноутворення на основі поточних цін або конкурентний метод.

Проведено аналіз цін на послуги конкурентів. А саме, конкурент А – ціни коливаються в діапазоні від 32 730 до 96 217 грн. Конкурент Б – від 39 154 до 97 196 грн.

Отже, ціна на наші послуги може коливатися від 25 000 до 90 000 грн. І саме з такими цінами послуги на ринку можуть бути конкурентно спроможні.

4. Баловий метод.

Визначимо ціна одного балу:

$$C' = \frac{C_{\text{базової моделі}}}{\sum (B_{bi} \cdot V_i)} = \frac{20\,000}{7,2} = 2\,777,7$$

Визначимо ціну нової послуги:

$$C = \sum (B_{Hi} \cdot V_i) \cdot C' = 8,9 \cdot 2\,777,7 = 24\,722,2 \text{ грн/шт}$$

Ціна реалізації кінцевих послуг, розрахуємо ціну річного випуску продукції:

$$B_{\text{рік}}^{\text{грн}} = C \cdot B_{\text{рік}} = 24\,722,2 \cdot 69 = 1\,705\,833,3 \text{ грн}$$

Визначаємо прибуток підприємства:

$$\Pi = B_{\text{рік}}^{\text{грн}} - C = 1\,705\,833,3 - 1\,060\,534,867 = 645\,298,46 \text{ грн}$$

Рентабельність підприємства:

$$P = \frac{\Pi}{C} \cdot 100\% = \frac{645\,298,46}{1\,060\,534,867} * 100 = 60,8\%$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = \frac{\Pi}{K} = \frac{\Pi}{OF + OF\Phi} = \frac{645\,298,46}{755\,000 + 27\,034,867} = 0,825$$

$$OF\Phi = C - A - 3\Pi = 1\,060\,534,867 - 145\,500 - 888\,000 \\ = 27\,034,867 \text{ грн.}$$

Період повернення капіталовкладень:

$$T_{\text{пов.}} = \frac{1}{E} = \frac{1}{0,825} = 1,21 \text{ р.}$$

Фондовіддача основних засобів виробництва:

$$\Phi B = \frac{B_{\text{рік}}^{\text{грн}}}{OF} = \frac{1\,705\,833,3}{755\,000} = 2,25 \text{ грн/грн}$$

Фондоємність:

$$\Phi E = \frac{1}{\Phi B} = \frac{1}{2,25} = 0,44$$

#### 5. Точка беззбитковості.

$$T_{\text{бз}} = \frac{OF}{Ц - OF\Phi_1} = \frac{OF}{(Ц - \frac{OF\Phi}{69})} = \frac{755\,000}{(24\,722,2 - \frac{27\,034,867}{69})} = 31,03$$

Точка беззбитковості – 32 послуг/рік

Зведемо всі розраховані в розділі 5.4 показники до таблиці 5.10

Таблиця 5.10. Основні техніко - економічні показники

Показник	Значення
----------	----------

Вартість основних фондів	755 000 грн.
Річна кількість послуг	69 шт/рік
Чисельність персоналу	8 осіб
Капіталовкладення	1 060 534,867 грн.
Собівартість послуг	1 060 534,867 грн./рік
Ціна послуг	24 722,2 грн./од
Прибуток	645 298,46 грн./рік
Рентабельність	60,8 %
Коефіцієнт економічної Ефективності	0,825
Період повернення капіталовкладень	1,21 років
Фондовіддача	2,25 грн./грн.
Фондоємність	0,44 грн./грн.

За знайденими техніко-економічними показниками можна зробити висновок, що дане підприємство є прибутковим.

## 5.5 Карта бізнес процесів використання стартап проекту

Таблиця 5.11 – Карта бізнес процесів

Стадія реалізації стартап проекту	Бізнес-процеси	Характеристики		
		Задіяні ресурси	Орієнтовна тривалість процесу	Верхня межа фінансових витрат
Розробка ідеї стартапу	Пошук інформації Аналіз ринку Аналіз конкурентів	Інтернет Комп'ютер Людина Електроенергія	1 день	100 грн
Реалізація ідеї	Формування компонентів Аналіз обладнання	Людина Інтернет Комп'ютер Електроенергія	7 днів	Виробничий інвентар - 20 000

	Закупівля обладнання			Офісний інвентар – 30 000
Впровадження у постачання	Організація робочого циклу Залучення покупців	Людина Комп'ютер	7 днів	1000 грн
Масова реалізація	Розробка реклами Прийом замовлень та надання послуг	Людина Інтернет Комп'ютер	протягом робочого часу	10 000 грн

Таблиця 5.12 – Системний аналіз бізнес процесів стартапу

Функції	Елементи		
	Автор ідеї	Інженер- програміст	Начальник бригади
Пошук інформації	+		
Узагальнення тематики	+	+	
Аналіз ринку	+	+	+
Визначення ціни	+	+	
Закупка обладнання		+	+
Реклама	+		+
Організація робочого процесу	+		
Створення каталогу		+	
Прийом замовлень		+	
Пошук покупців проекту	+	+	+
Ведення обліку	+		
Розрахунок покупців			+

Аналіз потреб споживачів	+	+	+
Контроль якості обслуговування			+

## 5.6 АНАЛІЗ РИЗИКІВ

Так як кожен новий проект неминуче стикається на своєму шляху з певними труднощами, які загрожують його здійсненню, то для його успішної реалізації необхідно:

- виявити відповідні фактори ризику;
- розробити заходи, спрямовані на уникнення та зведення до мінімуму ризиків.

Головне в аналізі ризиків – вміння підприємства заздалегідь передбачити всі типи ризиків, з якими є ймовірність зіткнутися, визначення джерела цих ризиків і момент їх виникнення, а разом з тим розробка заходів щодо скорочення цих ризиків і мінімізації втрат, які вони можуть викликати. Для запобігання ризиків або зменшення їх впливу розроблені наступні заходи, які наведені в таблиці 5.13 та 5.14.

Таблиця 5.13 – Ризики інноваційної розробки та ймовірність їх настання

Стадія реалізації	Види ризику	Характеристика	Ймовірність настання	Вплив на результат
Розробка ідеї стартапу	Пошук інформації	Знаходження неправдивої інформації	Мінімальна	Проблеми на початковому етапі створення підприємства
	Аналіз ринку	Неправильний або некоректний аналіз ринку	Середня	Встановлення некоректних цін на послуги.
	Аналіз конкурентів	Неправильний або недостовірний аналіз конкурентів	Середня	Встановлення некоректних цін, неправильна оцінка конкурентоспроможності



Таблиця 5.13. Продовження

Реалізація ідеї	Формування компонентів	Неправильне формування компонентів	Мінімальна	Неправильна компонентна база
	Аналіз обладнання	Некоректний аналіз обладнання	Мінімальна	Можливість помилитись із можливостями і функціоналом обладнання
	Закупівля обладнання	Закупівля неякісного обладнання або переплата	Мала	Закупка невідходячого обладнання в результаті чого працювати з ним неможливо або складно
Впровадження у постачання	Організація робочого циклу	Некоректна організація робочого циклу	мінімальна	Неправильно організований робочий цикл зменшує продуктивність надання послуг або сильно ускладнює його
	Залучення покупців	Погане залучення покупців	середня	Ненадійні покупці можуть зашкодити підприємству
Масова реалізація	Розробка реклами	Неякісна реклама	середня	Слабке або негативне рекламування сповільнює розвиток компанії
	Прийом замовлень та надання послуг	Погана якість обслуговування	мінімальна	Погана робота робітників може знизити якість виконаної роботи а погана робота обслуговуючого персоналу може знизити бажання клієнтів обслуговуватись в даній компанії

Найважливішими ризиками являються : неправильний або некоректний аналіз ринку, неправильний або недостовірний аналіз конкурентів, Закупівля

неякісного обладнання або переплата, погане залучення покупців, неякісна реклама. В таблиці 5.14 вказані методи боротьби з цими ризиками.

Таблиця 5.14 – Методи управління ризиками

Ризики	Методи управління ризиками	Приклад методу
Неправильний або некоректний аналіз ринку	Ухилення від ризику	Відмова від прийняття ризикованих проектів, рішень.
Неправильний або недостовірний аналіз конкурентів	Попередження ризику	Здобуток додаткової інформації Стратегічне планування діяльності Прогнозування економічної ситуації Активний маркетинг
Закупівля неякісного обладнання або переплата	Попередження ризику	Зниження частоти збитку Зменшення розмірів збитку Здобуття додаткової інформації
Погане залучення покупців	Попередження ризику	Стратегічне планування діяльності Прогнозування економічної ситуації Цілеспрямований маркетинг.
Неякісна реклама	Ухилення від ризику	Відмова від ненадійних партнерів

### Висновки до розділу 5

У розділі був розроблений стартап-проект, визначена бізнес-ідея, суб'єкт замовлення та об'єкт дослідження. Проаналізоване зовнішнє, оперативне та внутрішнє середовище стартапу, описані фактори, недоліки та переваги. Визначені ключові фактори успіху, проведено порівняння конкурентів. Розраховані основні техніко-економічні показники, визначена ціна та проаналізовані результати розрахунків. Проведена оцінка ризиків та запропоновані методи страхування проекту.

## ВИСНОВКИ

Таким чином за результатами роботи можна зробити наступні висновки:

1. Розглянуті можливості SCADA-систем та мов програмування контролерів. Для виконання роботи обрано середовище SCADA Trace Mode 6 та мови програмування FBD I ST.
2. Проведено попередній аналіз технологічної схеми як об'єкту автоматизації. Розраховано матеріальний баланс та розроблено функціональну схему автоматизації.
3. Розроблено візуальну модель технологічної схеми та моделі окремих вузлів засобами SCADA Trace Mode, проведено імітаційне моделювання технологічного об'єкту з системою автоматизації.
4. Підібрані технічні засоби реалізації системи автоматизації.
5. Розроблено стартап проект на тему «надання послуг малої автоматизації»

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Классен П.В., Гришаев И.Г., Шомин И.П. Гранулирование. – М.: Химия, 1991. – 240 с.
2. Корнієнко Я.М. Технічні засоби грануляції. – К.: ІЗМН, 1997. – 128 с.
3. Хвастухин Ю.И., Когута Н.К. Гранулирование и обжиг в псевдоожиженном слое. – К.: Наукова думка, 1988. – 160 с.
4. Обезвоживание растворов в кипящем слое / Тодес О.М., Каганович Ю.Я., Себалло В.А. Налимов С.П., Цитович О.Б., Гольцикер А.Д. / Под ред. О.М. Тодеса. – М.: Металлургия, 1973. – 287 с.
5. Корнієнко Я.М., Статюха Г.О., Складанний Д.М. Моделювання безперервного безрециклового процесу зневоднення та грануляції гетерогенних систем у псевдозрідженому шарі. // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – №1. – 2002. – С. 133 – 138.
6. Корнієнко Я.М., Статюха Г.О., Складанний Д.М. Визначення областей стійкої кінетики процесу гранулоутворення органомінеральних добрив. // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – №2. – 2002. – С. 122 – 127.
7. Корнієнко Я.М., Складанний Д.М. Математичне моделювання оцінки якості дисперсного складу гранульованого продукту при зневодненні та грануляції гетерогенних систем // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – №3. – 2002. – С. 114 – 118.
8. Korniyenko Ya., Statyukha G., Skladanny D. Computing of experimental research of the process dehydration and granulation in an air-fluidized bed // Summaries of 15th International Congress of Chemical and Process Engineering “Chisa 2002”. – 2002. – P. № 0738.
9. Корнієнко Я.М., Статюха Г.О., Складанний Д.М., Савченко Г.Б. Пошук стабільних умов проведення процесу зневоднення та грануляції у псевдозрідженому шарі з використанням методу Тагучі. // Вопросы химии и химической технологии. - № 1 – 2003. – С. 140 – 142.
10. SCADA система Trace Mode 6: учебное пособие – Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2011. – 128 с.

11. Кузяков О.Н., Шелест А.А. Проектирование АСУ ТП с использованием инструментального пакета TRACE MODE 6.05: Учебное пособие. – Тюмень, ТюмГНГУ, 2008 – 87 с.
12. Лопатин А.Г., Киреев П.А. Методика разработки систем управления на базе SCADA системы TRACE MODE: Учебно–методическое пособие / РХТУ им. Д. И. Менделеева, Новомосковский ин-т. Новомосковск, 2007.–112 с.
13. Описание SCADA-системы TRACE MODE v.6 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://media.ls.urfu.ru/632/1731/4192/5249/>
14. Описание SCADA-системы GENESIS 32 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://mysagni.ru/fea/ait/1509-opisanie-scada-sistemy-genesis-32-i-laboratornye.html>
15. Системный обзор WinCC [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://docplayer.ru/35888283-Tema-3-sistemnyy-obzor-wincc.html>
16. Simatic WinCC [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Simatic\\_WinCC](https://ru.wikipedia.org/wiki/Simatic_WinCC)
17. Wonderware InTouch [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.wonderware.ru/hmi-scada/intouch/>
18. 5 языков программирования стандарта МЭК 6-1131/3 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.adastra.ru/products/overview/IEC61131/>
19. Промышленное программирование, или Пара слов об АСУ ТП [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/post/197276/>
20. Языки программирования в scada [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://automationlab.ru/index.php/ispy/215-32>
21. Савельев Н.И. Балансовые расчеты химико-технологических процессов: учеб. пособие. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2014.

22. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП [Текст]: методическое пособие / А.Л. Нестеров. – СПб, издательство ДЕАН, – 2006, – 552 с. ISBN 5-96630-530-9
23. Расчеты аппаратов кипящего слоя: Справочник / Под ред. И.П. Мухленова, Б.С. Сажина, В. Ф. Фролова. — Ленинград: Химия, 1986. – 352 с.
24. Кравчук Р.В., Складанний Д.Н. Моделювання рециркуляції пилу гранульованого продукту мовою функціональних блоків // Міжнародна наукова інтернет-конференція "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 33)" / Збірник тез доповідей:— Частина 1. – Тернопіль. – 2018. –
25. Кравчук Р.В., Складанний Д.Н. Моделювання мовою функціональних блоків підсистеми забезпечення гарячим повітрям гранулятора з псевдозрідженим шаром // Міжнародна наукова інтернет-конференція "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 34)" / Збірник тез доповідей:— Частина 1. – Тернопіль. – 2018.

## Додаток А – Функціональна схема автоматизації

## Додаток Б – Техніко-економічні показники

Показник	Значення
Вартість основних фондів	755 000 грн.
Річна кількість послуг	69 послуг/рік
Чисельність персоналу	8 осіб
Капіталовкладення	1 060 534,867 грн.
Собівартість послуг	1 060 534,867 грн./рік
Ціна послуг	24 722,2 грн./од
Прибуток	645 298,46 грн./рік
Рентабельність	60,8 %
Коефіцієнт економічної Ефективності	0,825
Період повернення капіталовкладень	1,21 років
Фондовіддача	2,25 грн./грн.
Фондоємність	0,44 грн./грн.